

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**  
**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA ESTACIÓN CENTRALIZADA DE GAS**  
**LICUADO DE PETRÓLEO “GLP” PARA EL LABORATORIO DE**  
**FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS**  
**SUR.**

**AUTOR:**  
**JUAN ANDRES REA TARIS**

**TUTOR:**  
**RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA**

**Quito, agosto del 2019**

### **CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR**

Yo, Juan Andres Rea Taris, con cédula de ciudadanía N° 0201837077, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA ESTACIÓN CENTRALIZADA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO “GLP” PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS SUR.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Juan Andres Rea Taris  
C.I.: 0201837077

Quito, agosto de 2019

### **DECLARATORIA DE COAUTORIA**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA ESTACIÓN CENTRALIZADA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO “GLP” PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS SUR.”, realizado por Juan Andres Rea Taris, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2019



Quitiaquez Sarzosa René Patricio

C.I.: 1710597269

## **DEDICATORIA**

Este proyecto lo dedico con mucho amor a mis hijas Ariana y Elani, por defenderme en mi ausencia, por llenarme de energía cuando ya no la tenía, a mis sobrinos Samuel, Farid, Tadeo, Santos y Ángela quienes comparten su niñez conmigo gracias por alegrar mi vida.

A la señora María Taris, mi madre por su amor quien supo guiarme, cuidarme todos los días, la que con su esfuerzo me enseñó a no darme por vencido nunca.

A mi padre Segundo Rea por su amor ya que desde el inicio de mi vida me enseñó a ser un campeón y a luchar mis propias batallas.

A mi hermana Sandra por su cariño quien siempre está pendiente de mí, que gracias a su carácter me ha demostrado que se puede seguir adelante.

A mi hermano Diego por su cariño y cuidado en tiempos de dolor y angustia fue quien me vio caer y surgir.

A mis amigos y personas que me ayudaron en mi trayectoria, ya que sin ellos no sería posible terminar esta etapa de mi vida.

***Andres***

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ingeniero Quitiaquez Sarzosa René Patricio M.Sc., tutor del proyecto técnico, por compartir su conocimiento y tiempo para la ejecución y culminación del presente trabajo.

*Andres*

## RESUMEN

Este proyecto consiste en el estudio y diseño de una estación centralizada de gas licuado de petróleo (GLP), para el Laboratorio de Fundición de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur. El sistema está formado por una línea de carga, que transporta el fluido en estado líquido a 700 galones por hora, con válvulas manuales de dos cuerpos ubicadas en los dos extremos y una válvula de alivio calibrada a 1723.7 kPa (250 psi) para abrirse en caso de una sobre presión, un tanque de almacenamiento, específicamente para GLP con estampe ASME importado de Guadalajara, Jalisco, México, de marca GCYTSA diseñado para soportar 2240.8 kPa (325 psi), donde, el combustible se encuentra en estado líquido y se va evaporando en el interior del cilindro, proceso por convección, obteniendo el fluido en estado gaseoso a diferentes presiones, dependiendo del porcentaje de almacenamiento en su interior, el que no sobrepase el 85 % de su capacidad de llenado. Aquí actúa la válvula de alivio propia del tanque calibrada, para liberar el gas al ambiente a una presión no mayor de 1723.7 kPa, gracias a la temperatura que rodea al tanque la vaporización obtiene presión interna, haciendo que el fluido llegue hasta el punto de consumo por el interior de una tubería diseñada para trabajar con fluido turbulento. Esta línea de alimentación cuenta con un regulador de primera etapa y un regulador de segunda etapa, entregando una presión de 48.27 kPa (7 psi) para el buen funcionamiento del quemador de fuego directo tipo G1/1-E, horno crisol utilizado para la fundición de aluminio, la inversión requerida para la futura implementación, percibe un 24 % de tasa interna de retorno a un período de 5 años, siendo viable el proyecto al considerar que los años de vida útil de la instalación es no mayor a 30 años.

**Palabras clave:** estación centralizada de gas licuado de petróleo (GLP), almacenamiento de (GLP), combinación del propano y butano como combustible.

## ABSTRACT

This project consists of the study and design of a centralized station of liquefied petroleum gas (LPG) for the Foundry Laboratory of the Universidad Politécnica Salesiana Campus South. It is formed by a load line that transports the fluid in liquid state to 700 gallons per hour with manual valves of two bodies located in the two ends and a relief valve calibrated to 1723.7 kPa (250 psi) to open in case of an overpressure, a storage tank specifically for LPG with ASME status imported from Guadalajara, Jalisco, Mexico, brand GCYTSA designed to support 2240.8 kPa (325 psi), where the fuel is in liquid state and evaporating inside the cylinder this by convection obtaining the fluid in a gaseous state different pressures depending on the percentage of storage inside, which does not exceed 85% of its filling capacity where the relief valve of the calibrated tank acts to release the gas to the environment at a pressure not higher than 1723.7 kPa, thanks to the temperature that surrounds the tank the vaporization obtains internal pressure making the fluid reach the point of consumption. In a pipeline designed to work with turbulent fluid, this power line has a first stage regulator and a second stage regulator delivering a pressure of 48.27 kPa (7 psi) for the proper operation of the direct fire burner type G1/1-E. crucible furnace used for aluminum smelting, the investment required for the possible implementation perceives a 24 % internal rate of return to a period of 5 years, the project being viable considering that the years of useful life of the installation is not greater than 30 years.

**Key words:** centralized station of liquefied petroleum gas (LPG), storage of (LPG), combination of propane and butane as fuel.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR .....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARATORIA DE COAUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
Los objetivos específicos son:.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1    Generalidades .....	3
1.2    Gas licuado de petróleo .....	3
1.3    Obtención y destilación de gas licuado de petróleo .....	5
1.4    Características y propiedades del gas licuado de petróleo .....	6
1.5    Aplicaciones del gas licuado de petróleo .....	9
1.5.1    Sector residencial .....	10
1.5.2    Aerosoles y refrigerantes .....	10
1.5.3    Sector industrial .....	10
1.6    Cadena de suministro .....	11
1.6.1    Aspecto legal sobre autorización de operación .....	12
1.7    Estación centralizada de gas licuado de petróleo .....	12
1.8    Tanques y almacenamiento de gas licuado de petróleo.....	13
1.9    Clasificación de tanques de GLP.....	13
1.10    Ubicación de tanques.....	15
1.10.1    Tanques enterrados .....	15
1.10.2    Tanques semienterrados .....	16
1.10.3    Tanques sobre el nivel del terreno .....	16



1.10.4	Tanques en terrazas .....	16
1.11	Componentes del tanque .....	17
1.11.1	Válvula de llenado .....	18
1.11.2	Válvula de toma en fase líquida .....	19
1.11.3	Multiválvulas .....	19
1.11.4	Nivel magnético .....	20
1.11.5	Válvula de seguridad.....	20
1.11.6	Manómetro de lectura .....	21
1.11.7	Purga .....	21
1.12	Vaporización .....	21
1.12.1	Factor de corrección de temperatura ( $f_t$ ) .....	23
1.12.2	Constante de porcentaje para volumen del líquido en tanque de GLP .....	24
1.12.3	Factor de simultaneidad .....	25
1.12.4	Autonomía de la instalación.....	25
1.12.5	Capacidad útil .....	25
1.13	Sistema de distribución .....	27
1.14	Tubería de GLP utilizada en fase gaseosa.....	27
1.14.1	Tubería acero al carbono.....	27
1.14.2	Tubería de acero inoxidable flexible corrugada.....	27
1.14.3	Tubería de acero inoxidable rígida.....	28
1.14.4	Tubería de cobre rígida .....	28
1.14.5	Tubería plástica .....	28
1.15	Tubería para GLP en fase líquida.....	28
1.16	Uniones de tuberías para GLP .....	29
1.16.1	Uniones mediante soldadura .....	29
1.17	Cálculo de conducciones .....	31

1.18	Reguladores de presión .....	31
1.19	Tipos de regulación .....	32
1.20	Dispositivo de control .....	32
1.20.1	Llave de asiento.....	33
1.20.2	Llave de bola .....	33
1.20.3	Llave de mariposa .....	33
1.21	Conectores flexibles .....	34
1.21.1	Mangueras de alta presión.....	34
1.21.2	Manguera para equipos de gas .....	35
1.22	Equipo de consumo .....	35
1.23	Elementos de sujeción de tuberías.....	36
CAPÍTULO II .....		37
2.1	Tanques de GLP .....	37
2.2	Equipo de consumo .....	37
Elaborado por: Andres Rea .....		38
2.3	Selección de alternativa.....	38
2.4	Diseño de la instalación centralizada de GLP .....	40
2.5	Demanda total del quemador.....	40
2.6	Dimensionamiento del tanque de GLP .....	41
2.7	Cálculo de vaporización del tanque de GLP .....	42
2.8	Capacidad volumen útil del tanque .....	42
2.9	Autonomía del sistema .....	43
2.10	Diseño de tuberías .....	44
2.10.1	Dimensionamiento de línea de carga .....	45
2.10.2	Dimensionamiento de la línea de alimentación .....	47
2.11	Selección de reguladores .....	51

2.11.1	Regulador de primera etapa .....	52
2.11.2	Regulador de segunda etapa.....	53
2.12	Tipo de soldadura para tubería de GLP .....	54
2.13	Elementos y accesorios del sistema.....	55
2.14	Ubicación de válvulas de corte o accionamiento .....	55
2.15	Mangueras de alta presión y baja presión.....	55
2.16	Soportes o bases de hormigón .....	56
2.17	Simulación del sistema centralizado de GLP .....	58
2.18	Medidas complementarias .....	62
2.18.1	Puesta a tierra para el tanque estacionario y Auto-tanque .....	63
2.18.2	Pararrayos.....	63
2.18.3	Señalización .....	64
2.18.4	Extintores .....	64
2.18.5	Duchas de refrigeración .....	64
2.18.6	Ventilación de equipos a gas.....	65
CAPÍTULO III.....		66
3.1	Análisis económico de materiales .....	66
3.2	Análisis económico de la mano de obra.....	69
3.3	Costos por mantenimiento.....	71
3.4	Evaluación económica del proyecto.....	72
3.4.1	Valor actual neto (VAN) .....	72
3.4.2	Tasa interna de retorno (TIR) .....	73
CONCLUSIONES.....		76
RECOMENDACIONES .....		78
REFERENCIAS.....		79
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas - químicas del propano y butano .....	6
Tabla 2. Límite de inflamabilidad .....	8
Tabla 3. Comercializadoras de GLP .....	11
Tabla 4. Clasificación de tanque para almacenamiento de GLP .....	14
Tabla 5. Factor de corrección de temperatura .....	24
Tabla 6. Constante K .....	24
Tabla 7. Clasificación de reguladores de precisiones .....	32
Tabla 8. Placa del quemador G1/1- E .....	37
Tabla 9. Distancias mínimas de seguridad .....	39
Tabla 10. Potencia de consumo del quemador de kW a BTU/h .....	40
Tabla 12. Tabla de vaporización natural a diferente temperatura y capacidad .....	42
Tabla 13. Clasificación de la MPOP .....	45
Tabla 14. Dimensionamiento para líneas de propano líquido .....	46
Tabla 15. Guía para la selección de tubos y tubería .....	48
Tabla 16. Tubería de Acero al carbono ASTM A53 .....	50
Tabla 17. Cotejo de diámetros calculados.....	50
Tabla 18. Características del regulador Rego .....	53
Tabla 19. Características del regulador de segunda etapa .....	53
Tabla 20. Datos técnicos para bases de hormigón .....	56
Tabla 21. Presión vs % de llenado .....	58
Tabla 22. Datos de simulación vs diseño .....	62
Tabla 23. Materiales para línea de carga.....	66
Tabla 24. Materiales que intervienes en el tanque de GLP .....	67
Tabla 25. Materiales para línea de alimentación.....	68
Tabla 26. Materiales para el sistema de enfriamiento.....	69
Tabla 27. Tabla de sueldos de acuerdo con el Ministerio de Trabajo .....	70
Tabla 28. Total de inversión requerida. ....	70
Tabla 29. Costos de mantenimiento .....	71
Tabla 30. Flujo neto efectivo .....	73
Tabla 31. Cálculo del VAN.....	73
Tabla 32. Cálculo del TIR.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Destilación del GLP .....	6
Figura 2. Cadena de comercialización de GLP. ....	12
Figura 3. Estación centralizada de GLP. ....	13
Figura 4. Tanque enterrado .....	15
Figura 5. Tanques semienterrados .....	16
Figura 6. Tanque sobre el terreno .....	16
Figura 7. Tanques en terraza .....	17
Figura 8. Componentes del tanque .....	18
Figura 9. Válvula de llenado .....	19
Figura 10. Válvula check lock .....	19
Figura 11. Multiválvulas .....	20
Figura 12. Ubicación del nivel magnético .....	20
Figura 13. Válvula de alivio .....	21
Figura 14. Parámetros para la vaporización del tanque de GLP. ....	23
Figura 15. Vaporización de GLP .....	25
Figura 16. Válvula de alivio en línea de carga .....	29
Figura 17. Grados de accesibilidad a válvulas .....	34
Figura 18. Manguera de alta presión .....	34
Figura 19. Manguera para conexión de equipos .....	35
Figura 20. Hornos de fundición a gas .....	35
Figura 21. Soporte de tubería .....	36
Figura 22. Ubicación del tanque de GLP. ....	38
Figura 23. Capacidad útil del tanque de GLP. ....	43
Figura 24. Válvula de alivio 3127G .....	47
Figura 25. Catálogo de reguladores de alta presión .....	52
Figura 26. Regulador 1584VN .....	53
Figura 27. Regulador LV4403TR4 .....	54
Figura 28. Trabajo de soldadura en tubería. ....	54
Figura 29. Punto de carga ubicada al exterior. ....	55
Figura 30. Manguera de alta presión previo a su conexión. ....	56
Figura 31. Bases de hormigón para tanque de GLP. ....	57
Figura 32. Dimensiones para las bases de hormigón. ....	57

Figura 33. Presión vs % de llenado. ....	58
Figura 34. Línea de alimentación. ....	59
Figura 35. Parámetros de presión. ....	59
Figura 36. Designación de fluido. ....	60
Figura 37. Parámetros de simulación. ....	60
Figura 38. Inicio de tubería ingreso de fluido. ....	61

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Laboratorio de Fundición de la Universidad Politécnica Salesiana cuenta con una estación de gas, la que funciona con cuatro cilindros de gas con una capacidad de 45 kg, mismos que son manipulados frecuentemente para realizar su intercambio, debido a la demanda del horno de fundición con un quemador industrial Weishaupt tipo G1/1-E.

Esto representa un riesgo de siniestro al igual que un aumento significativo en los costos de producción, como tiempo, movilización y esfuerzo físico. Además, se debe tomar en cuenta que el GLP es altamente volátil y causante de pérdidas humanas, bienes inmuebles y al existir un incendio produce contaminación, ya que se consume materiales de combustión sólidos y líquidos.

Para brindar una solución a la problemática planteada, se presenta el estudio y diseño de una estación centralizada de GLP para el Laboratorio de Fundición, unificando los conocimientos teóricos y prácticos sobre el proceso, almacenamiento, distribución y manejo del GLP para el uso en la fundición de aluminio.

En el presente proyecto se propone una instalación de gas centralizado, con altos niveles de seguridad bajo normativas y parámetros para el Laboratorio de Fundición de la Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica, una autonomía del sistema, disminución de esfuerzo físico y compensando la demanda del horno de fundición.

El objetivo general es estudio y diseño de una estación centralizada de gas licuado de petróleo (GLP) para el laboratorio de fundición de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.

Los objetivos específicos son:

- Estudiar la situación actual del proceso de manejo de gas, mediante la investigación de campo para el laboratorio de fundición de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.

- Evaluar las alternativas y definir el diseño de gas centralizado más viable para la posible ubicación del tanque, accesorios y tuberías.
- Diseñar el sistema de gas centralizado para el almacenamiento de 2 m<sup>3</sup> de gas licuado de petróleo (GLP).
- Validar el diseño bajo la simulación de un software especializado y la selección de accesorios, materiales y equipos según la norma INT INEN 2260:2010.
- Realizar el análisis de factibilidad técnico - económico para su posible instalación del sistema.



# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO SOBRE INSTALACIONES DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO**

En este capítulo se describe la familia de gases, el proceso de obtención, las principales características, aplicaciones y manejo del gas licuado de petróleo (GLP), mismo que es utilizado en la actualidad para diferentes tipos de procesos en el país. Se abarca las entidades que realizan el abastecimiento de GLP, el porcentaje de venta interna, la conformación de una estación centralizada, ubicación del tanque, elementos, partes y equipos que son fundamentales para el buen funcionamiento, basado en fórmulas para realizar el cálculo y dimensionamiento de dichos elementos.

### **1.1 Generalidades**

Se considera todos los aspectos legales para el uso, diseño e instalación del sistema centralizado de GLP, de acuerdo con las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en base a la norma INEN 2260:2010 [1]. Posteriormente, se va a obtener datos del estado actual sobre la demanda del quemador, generando la información necesaria por parte del docente a cargo del laboratorio quien describe el consumo de GLP, frecuencia de funcionamiento del horno y el tiempo de uso por estudiante o proyecto. Teniendo en cuenta los datos actuales para la selección de suministro, almacenamiento, equipo de regulación, cañerías y medición. Con los datos obtenidos analíticamente, se realiza la simulación en SolidWorks para validar los niveles de seguridad.

### **1.2 Gas licuado de petróleo**

El gas licuado de petróleo (GLP) fue un desarrollo relativamente tardío de la industria del petróleo y el gas, su historia está documentada desde principios del siglo XX [2]. La gasolina que se producía en aquella época se evaporaba rápidamente mientras estaba almacenada, lo cual era un problema [3]. En 1911, el químico norteamericano Walter Snelling demostró que la evaporación se debía al propano y al butano presente en ella. No tardó en desarrollar un método práctico para separar estos gases de la gasolina [3].

En la fase de tratamiento y antes de su emisión a través de la red de tuberías, se le añade un compuesto químico que, aún en pequeñas cantidades, le dotan de un olor permanente y característico que desaparece cuando se produce la combustión del gas [4]. Para el gas natural, se utiliza el Tetrahidrotiofeno ( $C_4H_8S$ ) y para el gas licuado de petróleo, el etil-mercaptano ( $C_2H_6S$ ) [1].

A presión atmosférica y temperatura ambiente (101.3 kPa y 20 °C), el gas licuado de petróleo se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0.5 °C y la del propano a -42.2 °C [4]. Por otra parte, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al gas licuado de petróleo a presión [5]. Para el butano, la presión debe ser de más de dos atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de ocho atmósferas. Un litro de líquido se transforma en 272.6 litros de gas para el propano y 237.8 litros de gas para el butano [5].

En condiciones normales de temperatura, el gas licuado de petróleo es un gas. Cuando se somete a presiones moderadas, se enfría y se transforma en líquido, en este estado, se transporta y almacena con facilidad [6]. Una vez enfriado o presurizado, el GLP, suele almacenarse en contenedores de acero o aluminio. El gas licuado de petróleo es, fundamentalmente, una combinación de moléculas de propano y butano, con otros compuestos, aunque es incoloro e inodoro [3]. Se le añade un agente fuertemente odorizante para detectar con facilidad cualquier fuga, por pequeña que sea [3]. Es necesario considerar que existe una gran demanda del GLP en el país, mismo que ha estado apoyando al sector productivo, para ello existen documentos del porcentaje de gas que ingresa y es producido en el Ecuador [7].

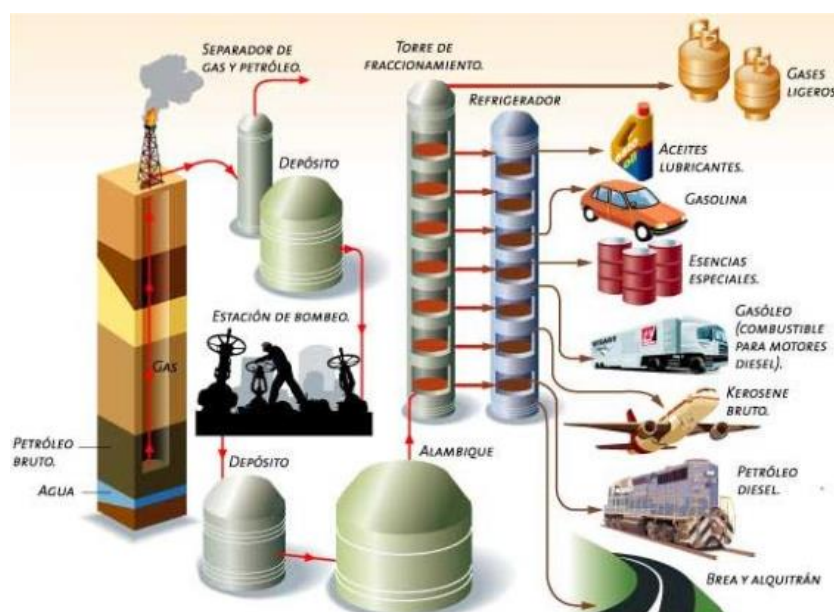
El GLP es usado en varias aplicaciones del área industrial, pero adicionalmente, la Universidad Politécnica Salesiana fomenta conocimientos de Metalurgia y Conformado a sus estudiantes. El enfoque es hacia los aspectos técnicos, científicos, administrativos, humanísticos y económicos relacionados directamente con los procesos productivos. Por este motivo, la Carrera de Ingeniería Mecánica tiene la necesidad de diseñar un sistema centralizado de GLP que mejore al Laboratorio de Fundición.

Los hornos de fundición utilizan energía calorífica para formar calor y el GLP es un combustible apto para su uso, ya que no genera gases de combustión para el proceso de fundición de aluminio [2]. El desarrollo del campo tecnológico ha incursionado en la investigación del desarrollo industrial, por tal motivo, el Laboratorio de Fundición requiere ser alimentado desde una estación centralizada de GLP, motivando a los estudiantes el uso de este tipo de energía, para lograr satisfacer diferentes tipos de procesos. La finalidad del proyecto es contribuir al desarrollo académico de los estudiantes, así como protegiendo el bienestar de todo el personal que trabaje en este Laboratorio.

### **1.3 Obtención y destilación de gas licuado de petróleo**

El GLP se obtiene como resultado del procesamiento del gas natural o durante el proceso de refinamiento del petróleo. Cuando se extrae de la tierra gas natural y crudo de petróleo, lo que se obtiene es una mezcla formada por distintos gases y líquidos, en la cual, un 5 % resulta GLP [3]. Antes de transportar o utilizar el gas natural o el petróleo, es necesario separar los gases que forman el GLP, que son ligeramente más pesados [3]. El refinado del petróleo es un proceso complejo que se desarrolla en muchas etapas, como las de destilación atmosférica, reformado, craqueo y otras. Los gases que componen el GLP, butano y propano, están atrapados en el crudo, para estabilizar el crudo de petróleo antes de transportarlo a través de oleoductos o mediante cisternas, estos gases naturales asociados se procesan, dando como resultado GLP [3].

En la Figura 1 se muestra el proceso de destilación fraccionada, en donde se describe la zona de ingreso del petróleo en la torre o columna denominada zona flash. Esta es el inicio de la separación de cada uno de los componentes [8]. El petróleo es previamente calentado a una temperatura que oscila entre 204.4 a 371.1 °C dependiendo del proceso [9]. El petróleo ingresa a la torre de destilación, donde debido a la diferencia de volatilidad, comprendidas entre los diversos compuestos contenidos en el petróleo crudo, se va separando a medida que se desplaza a través de la torre en dirección a la parte superior [8, 9].



**Figura 1.** Destilación del GLP [8]

#### 1.4 Características y propiedades del gas licuado de petróleo

Una de las propiedades más destacadas es el poder licuarse, es decir un cambio de estado de fase gaseosa a fase líquida, sometido a una presión determinada, reduciendo considerablemente su volumen, siendo posible el almacenamiento en cilindros especiales [6]. El factor de temperatura puede influenciar en el proceso de cambio de estado ya que, a mayor temperatura, el GLP cambia a un estado gaseoso. En la Tabla 1 se muestran las propiedades físicas y químicas del GLP.

**Tabla 1.** Propiedades físicas - químicas del propano y butano [10]

Propiedades	Nomenclatura	Unidades	Propano	Butano
Peso molecular	PM	g-mol/mol	44.1	58.12
Presión crítica	Pc	kPa	4249.05	3796.94
Temperatura crítica	Tc	K	369.95	423.15
Volumen crítico	Vc	cm <sup>3</sup> /mol	200	255
Poder calorífico superior	Pcs a 25 °C	kcal/kg	12000.54	11804.84
Poder calorífico inferior	Pci a 25 °C	kcal/kg	11084.64	10902.28
Viscosidad	U a 25 °C	kcal/m·s	8x10 <sup>-6</sup>	7.4 x 10 <sup>-6</sup>
Temperatura de ebullición	Teb a 1 at	K	231.15	263.15
Calor latente de vapor	Hfg a Teb	kcal/kg	102.39	92.82

Para ello, en ambientes fríos, se tiende a emplear mezclas con mayor cantidad de propano, a fin de evitar su licuefacción a temperatura ambiente. Por otra parte, en ambientes más cálidos, la mayor cantidad de butano permite presiones de almacenaje más bajas [11]. A continuación, se detalla las características físicas químicas y térmicas del GLP.

#### **1.4.1 Densidad**

La densidad relativa ( $\rho$ ) es la relación entre la densidad absoluta del gas y del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura [1]. El valor de esta propiedad indica si un gas es más o menos pesado que el aire ( $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ) [1]. Esto indica que el GLP posee un valor más denso que el aire, concluyendo que, si existiera una fuga de gas, este se alojaría en las áreas bajas de un establecimiento [12].

#### **1.4.2 Corrosión**

El GLP no corroe al acero, al cobre o sus aleaciones y no disuelven los cauchos sintéticos, por lo que estos materiales pueden ser utilizados para su instalación. Por el contrario, disuelven las grasas y al caucho natural [13].

#### **1.4.3 Toxicidad**

El GLP no es tóxico, sin embargo, tiene propiedades ligeramente anestésicas y que en altas concentraciones produce mareos [14]. No se cuenta con información definitiva sobre características carcinogénicas, mutagénicas u órganos que sean afectados [15]. Por lo tanto, la muerte se da debido a que el propano y butano desplazan el oxígeno provocando asfixia debido a la falta de oxígeno en el ambiente.

#### **1.4.4 Olor y color**

El GLP carece de color y de olor natural, siendo necesario aplicar un odorizante peculiar a base de mercaptanos [14]. El olor es detectado cuando todavía se encuentra la mezcla muy por debajo del límite de inflamabilidad [13]. El GLP no tiene color en su estado líquido es transparente similar al agua.

#### 1.4.5 Contaminación

La combustión del GLP no contamina la atmósfera, ya que no contiene azufre o plomo, no produce olores ni residuos tales como hollín ni humos [14]. El GLP no se disuelve en el agua ni la contaminan, por lo que se pueden utilizar en embarcaciones como carburantes y como combustible [13, 16].

#### 1.4.6 Presión de vapor

Cuando el GLP se encuentra almacenado en estado líquido, la mezcla de butano y propano llegan a evaporarse gracias a la temperatura, obteniendo una presión alta encargada del desplazamiento del gas por el interior de equipos, tuberías y accesorios. Esto significa que la presión es directamente proporcional a la temperatura que se encuentre el tanque. Para esto la norma NTE INEN 2260: 2010 numeral 7.10.1.2. Literal c), menciona que el porcentaje de llenado de los tanques no debe exceder el 85 % de su volumen, considerando la masa específica del producto líquido almacenado a 15 °C” [1].

#### 1.4.7 Límites de inflamabilidad

El butano y propano son gases inflamables, mismos que al obtener una mezcla apropiada de oxígeno (aire) y una fuente de ignición (chispa, llama o calor), se produce la combustión. Cuando existe una mezcla de GLP–aire para la combustión, el porcentaje debe estar en los rangos mostrados en la Tabla 2 [17].

**Tabla 2.** Límite de inflamabilidad [17]

GLP	Límite de inflamabilidad	
	Inferior %	Superior %
Propano	2.2	9.5
Butano	1.9	8.5

Por encima de estos límites de inflamabilidad de la mezcla es rica en gas y por debajo, la mezcla es pobre en gas. Se debe tener en cuenta que, fuera del límite de inflamabilidad no habrá fuego al contacto con una fuente de ignición [17].

#### **1.4.8 Poder calorífico**

Es la cantidad de calor producido por la combustión completa, a una presión constante e igual a 1013.25 kPa de la unidad de volumen o de masa de gas [13]. Siendo tomados los componentes de la mezcla de combustible en las condiciones de referencia y siendo conducidos los productos de la combustión a las mismas condiciones. Para ello se distingue dos tipos de poder calorífico [1].

Poder calorífico superior (PCS): El agua producida por la combustión está supuestamente condensada, aprovechando la misma cantidad de calor latente para la combustión de sus componentes [18].

Poder calorífico inferior (PCI): El agua producida por la combustión permanece supuestamente en estado de vapor, misma que no es aprovechada y no contribuye a la combustión [18].

#### **1.4.9 Índice de Wobbe**

En función del índice de Wobbe ( $Ws$ ), los gases se clasifican en tres familias con características principales.

Primera familia: Incluye los gases manufacturados, gas de coquería y mezcla hidrocarburos-aire (aire propano y aire metano) de bajo poder calorífico entre 4.65 y 5.5 kWh/m<sup>3</sup> [19, 20].

Segunda familia: Incluye los gases naturales, gas natural sintético y la mezcla de hidrocarburos –aire (aire propanado) de poder calorífico entre 9.3 y 14 kWh/m<sup>3</sup> [19, 20].

Tercera familia: Incluye los gases licuados de petróleo (GLP), propano y butano, con poder calorífico entre 27.9 y 36 kWh/m<sup>3</sup> [20].

#### **1.5 Aplicaciones del gas licuado de petróleo**

En la actualidad, el GLP se utiliza de diferentes maneras y algunas personas dependen de él para aplicaciones muy variadas en el sector terciario, la industria, el transporte,

la agricultura, la generación de energía, para la cocción de alimentos, como combustible de calefacción y en aplicaciones recreativas [21, 3].

### **1.5.1 Sector residencial**

En el sector doméstico o residencial, el GLP es empleado para la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la calefacción. También es usado en las zonas rurales para la preparación de alimentos y actividades agroindustriales [22, 23].

### **1.5.2 Aerosoles y refrigerantes**

El GLP sustituye los refrigerantes tradicionales y aire acondicionado convencional, reemplazando a los clorofluorocarburos (CFC) que producían agotamiento del ozono, utilizados anteriormente por la industria de aerosoles y refrigerantes- La mezcla de propano seco (R-290) y el isobutano (R600a) [2].

### **1.5.3 Sector industrial**

El GLP, tiene una variedad de aplicaciones con el propósito de optimizar los procesos de producción, apoyando a las empresas y microempresas que se lucran con el uso de este combustible.

En la soldadura, al actuar como combustible en las combinaciones oxígeno-gas o aire-gas, el GLP proporciona llamas de alta intensidad, requeridas para lograr la soldadura de materiales a temperaturas elevadas donde la materia prima se funde [23]. Se puede conseguir una soldadura blanda o fuerte, todo esto utilizando el propano que se encuentra en el GLP [22].

El GLP es empleado en el sector transporte para accionar los motores de vehículos [23]. Presentando un bajo consumo de combustible y un alto riesgo de accidentabilidad, en el Ecuador existen pocos vehículos que trabajan con GLP siendo unidades convertidas que inicialmente lo hacían con gasolina [22].

La escases de objetos y partes de máquinas, debido a su ruptura o desgaste, exige la fabricación de piezas moldeadas y fundidas en diferentes materiales como hierro, acero, bronce, aluminio, entre otros. Este proceso aporta al desarrollo



considerablemente obteniendo una gran influencia en todas las actividades y de producción [24].

En la Universidad Politécnica Salesiana, la Carrera de Ingeniería Mecánica imparte conocimiento respecto a los procesos de fundición. Para esto, el Laboratorio de Fundición cuenta con un horno crisol tipo TB 10/14 calentado por GLP, mismo que cuenta con un alto nivel de eficiencia. Este horno contiene un quemador tipo G1/1-E que posee una potencia máxima de 335 kW (1143735.06 Btu/h) [21]. Esta razón de calor va a ser suministrada por una estación centralizada de GLP, facilitando la limpieza, el mantenimiento y obteniendo bajos niveles de contaminación. Actualmente, en una práctica de laboratorio se consume aproximadamente entre 2 y 3 tanques de 45 kg durante 15 días.

### 1.6 Cadena de suministro

Respecto al suministro, el Registro Oficial Suplemento 621, Art. 3, sobre la autorización, menciona que, para ejercer las actividades de comercialización de GLP, en cilindros o al granel (instalaciones centralizadas o segmento vehicular), será expedida por el Ministro Sectorial o el Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), según el caso [25].

Como se muestra en la Tabla 3, las empresas que comercializan y realizan el suministro de GLP en el país están autorizadas por el ARCH. En el 2016, tuvieron mayor participación en los despachos y ejerciendo sus actividades hasta la actualidad obteniendo el 83 % del total de los despachos [26].

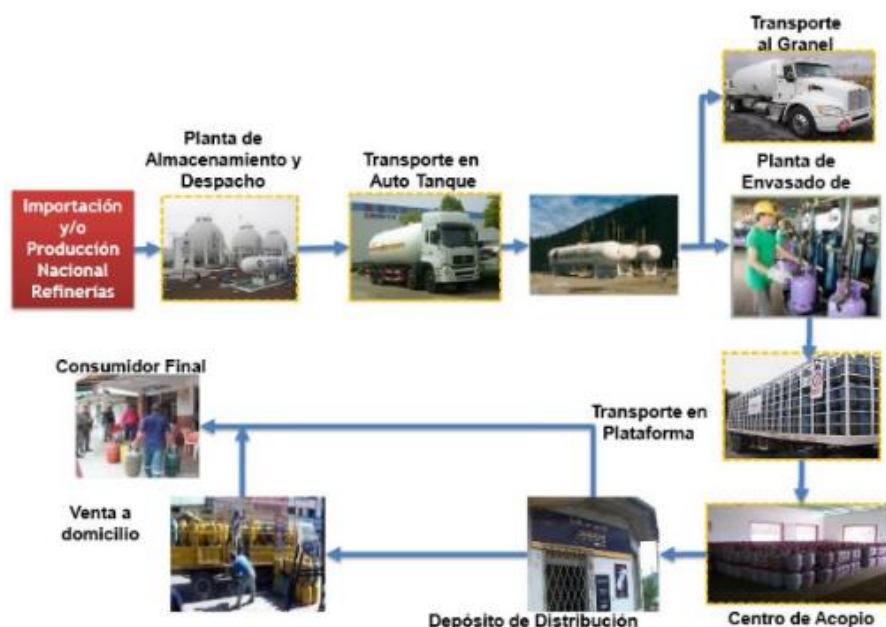
**Tabla 3.** Comercializadoras de GLP [26]

Comercializadora	Planta envasadora	Porcentaje de participación en despachos de GLP
Eni Ecuador	Ambato	33 %
	Ibarra	
	Pifo	
Congas C.A.	Quevedo	13 %
	Salcedo	

	Montecristi	
	Salitral	
Duragas S.A.	Bellavista	37 %
	Sto. Domingo	
	Pifo	

### 1.6.1 Aspecto legal sobre autorización de operación

El ARCH es la única entidad que autoriza la distribución y venta del combustible para todas las aplicaciones mostradas en la Figura 2. Para lo cual, los proyectos de GLP centralizados que se encuentren aptos deberán presentar la documentación original y certificada para su legalización ante la empresa de control previo a su abastecimiento (ver Anexo 1).



**Figura 2.** Cadena de comercialización de GLP. [27]

### 1.7 Estación centralizada de gas licuado de petróleo

Es un sistema o un conjunto de, uno o más, recipientes con un medio para llevar GLP desde, el o los, recipientes hacia los dispositivos surtidores o de consumo y que incorpora componentes con el objeto de lograr el control de la cantidad de flujo, presión o estado líquido a vapor [1, 3]. La Figura 3 es una instalación de recipientes, tuberías y equipos de GLP para uso indefinido en una ubicación particular, instalación que normalmente se espera que no cambie su categoría, condiciones o ubicación [28].



**Figura 3.** Estación centralizada de GLP. Elaborado por: Andres Rea

### **1.8 Tanques y almacenamiento de gas licuado de petróleo**

El GLP se envasa en recipientes de 5, 10, 15 y 45 kg para su entrega a los consumidores finales, residenciales y comerciales [29]. El suministro al por menor se realiza a través de una amplia red de empresas distribuidoras y de locales de venta [22].

### **1.9 Clasificación de tanques de GLP**

De acuerdo con la Norma NTE INEN 2260:2010, se detalla tres tipos de clasificaciones para instalaciones de almacenamiento de gas, las cuales son normalizadas [30].

- Baterías de cilindros de 15 kg.
- Baterías de cilindros de 45 kg.
- Tanques de almacenamiento de GLP fijos mayores a  $0.11 \text{ m}^3$ .

Bajo el numeral 7.9.1.1 de esta Norma sobre Baterías de cilindros de 15 y 45 kg, estos cilindros deben ser contruidos de acuerdo con lo establecido en las especificaciones de la NTE INEN 111 [1], utilizando los aceros establecidos en la NTE INEN 113, fabricados de acero con la NTE INEN 2143 y poseer certificado de conformidad con la norma [1].

Para baterías de cilindros de 15 kg, el almacenamiento es de uso exclusivo doméstico, conformado por 3 cilindros con la capacidad mencionada en uso y tres cilindros en almacenamiento.

Las baterías de cilindros de 45 kg son utilizadas en pequeñas industrias y restaurantes de uso comercial para actividades de lucro, se permite tres cilindros en funcionamiento y tres de reserva para su remplazo.

Para esto, la Norma NTE INEN 2260: 2010 numeral 7.9.1.3 sobre la instalación de GLP con tanques sobre el nivel del terreno, menciona que la instalación de GLP con tanques fijos deben ser diseñados y construidos de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 2261 vigente y el Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME acrónimo en inglés) Sección VII, División 1 o 2 y tener certificado de conformidad con la norma [1].

Y los tanques de almacenamiento de GLP fijos mayores a 0,11 m<sup>3</sup> son utilizados en industrias, hospitales, edificios, conjuntos residenciales, cuarteles, fábricas y sitios alejados de la ciudad. Generalmente son requeridos cuando la demanda del combustible es en grandes proporciones y se requiere un tiempo especificado para su consumo. A continuación, en la Tabla 4, se muestra la clasificación de tanques mayores a 0,11 m<sup>3</sup> de acuerdo con la suma de los volúmenes geométricos.

**Tabla 4.** Clasificación de tanque para almacenamiento de GLP [1]

Denominación	Volumen de almacenamiento
Sobre el nivel del terreno	
A-A	Mayores de 0.11 hasta 1 m <sup>3</sup>
A-0	Mayores de 1 hasta 5 m <sup>3</sup>
A-1	Mayores de 5 hasta 10 m <sup>3</sup>
A-2	Mayores de 10 hasta 20 m <sup>3</sup>
A-3	Mayores de 20 hasta 100 m <sup>3</sup>
A-4	Mayores de 100 hasta 500 m <sup>3</sup>
A-5	Mayores de 500 hasta 2000 m <sup>3</sup>
Enterrados o Semienterrados	
E-E	Mayores de 0.11 hasta 1 m <sup>3</sup>
E-0	Mayores de 1 hasta 5 m <sup>3</sup>
E-1	Mayores de 5 hasta 10 m <sup>3</sup>
E-2	Mayores de 10 hasta 100 m <sup>3</sup>
E-3	Mayores de 100 hasta 700 m <sup>3</sup>

De acuerdo al reglamento técnico de comercialización de GLP, el Acuerdo Ministerial 116, Registro Oficial 313 modificado el 25 de mayo del 2004 Art. 15, los tanques fijos

de almacenamiento del GLP, deberán ser sometidos a pruebas técnicas de vida útil en períodos no mayores a cinco años hasta un máximo de cinco pruebas, luego de lo cual serán dados de baja, retirados y reemplazados por unidades nuevas [31].

### 1.10 Ubicación de tanques

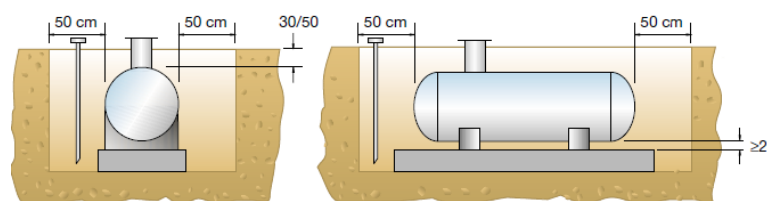
Respecto a la ubicación, la norma NTE INEN 2260: 2010 numeral 3.1.98 sobre tanque fijo o estacionario, menciona que los recipientes, que, por su capacidad volumétrica total, su tamaño y peso, deben permanecer fijo en un sitio de emplazamiento [1]. Su diseño y construcción debe cumplir con las especificaciones de la NTE INEN 2261 y tener la certificación de conformidad con la norma [1].

Los tanques GLP se deberán colocar en lugares de fácil acceso, de tal manera que el abastecimiento a granel desde cisternas se lleve a cabo en forma segura y ágil, lejos de lugares de tráfico vehicular y de salidas de emergencia. Además, se instalarán sobre superficies planas, impermeables y exclusivas [32].

La zona destinada al almacenamiento de envases se debe localizar al aire libre (patios, jardines o terrenos amplios), en un área fresca y seca, no se recomienda tener una edificación destinada para tal fin. Sin embargo, es necesario tener cerrado el recinto (enmallado de 2,5 m de altura) y deberá descansar sobre estructuras estables al fuego R 180 [6].

#### 1.10.1 Tanques enterrados

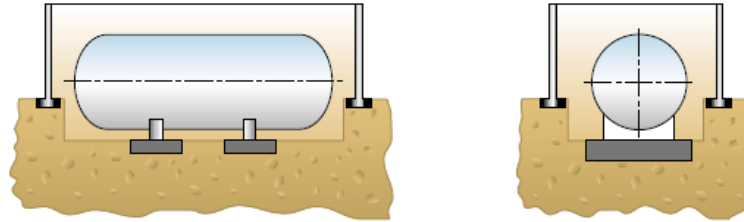
Éstos se encuentran totalmente por debajo del nivel del terreno circundante, la generatriz superior debe distar entre 0.3 y 0.5 m de dicho nivel, como se muestra la Figura 4. Estos tanques deben estar asentados sobre una fundición firme y anclada para impedir su flotación. Los tanques deben estar revestidos o protegidos para minimizar la corrosión rodeándole con tierra o arena fina libre de rocas o material abrasivo [33].



**Figura 4.** Tanque enterrado [13]

### 1.10.2 Tanques semienterrados

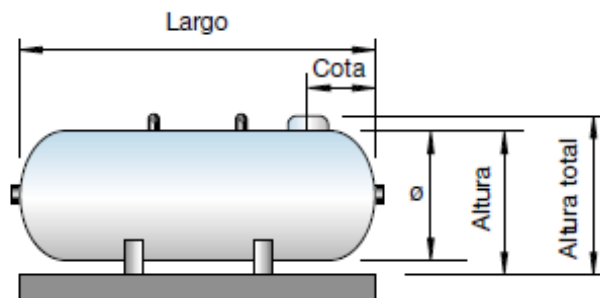
Aquellos que no se encuentran enterrados, como se muestra en la Figura 5, pudiéndose ubicar en taludes, pendientes, terrenos desnivelados en donde no cubre al tanque en su totalidad.



**Figura 5.** Tanques semienterrados [13]

### 1.10.3 Tanques sobre el nivel del terreno

Este debe ser apoyado en bases de hormigón y ubicado en un área ventilada cuya generatriz inferior se encuentra totalmente sobre el nivel del terreno, como se muestra en la Figura 6, prohibiendo el acceso a personal no autorizado mediante un cerramiento metálico.



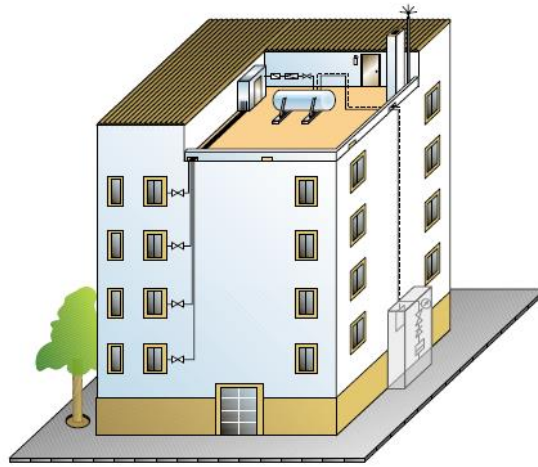
**Figura 6.** Tanque sobre el terreno [13]

### 1.10.4 Tanques en terrazas

Previo a la instalación del tanque de GLP en terraza como se muestra en la Figura 7, se requiere que un profesional competente certifique la resistencia de la loza, misma que será sometida a cargas puntuales y distribuidas teniendo en cuenta que para el mantenimiento se realiza pruebas hidrostáticas, llenando el tanque completamente de agua más el peso de dos o tres técnicos, quienes ejecutan el trabajo [31].

Mencionando que la Norma NTE INEN 2260: 2010 numeral 7.9.1.4 sobre instalaciones de almacenamiento tanques en terraza, se admite instalaciones

clasificadas como AA, A0, A1, y A2 hasta 12 m<sup>3</sup>, y que el piso se encuentre construido de forma que su resistencia al fuego sea 240 RF [1].



**Figura 7.** Tanques en terraza [13]

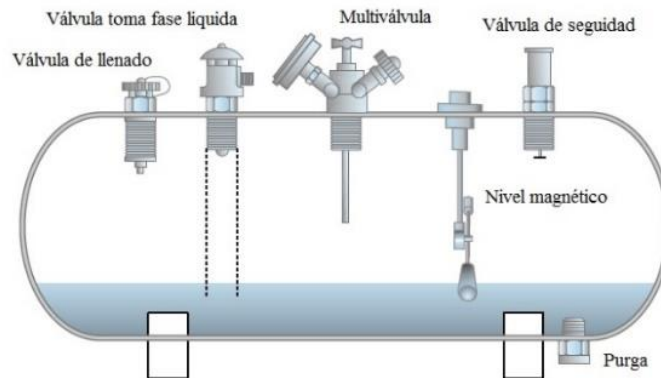
Para el Laboratorio de Fundición de la Universidad Politécnica Salesiana, el tanque de GLP de 1 o 2 m<sup>3</sup> se instalará a nivel del terreno junto al Laboratorio, evitando la manipulación de válvulas y accesorios por parte de los estudiantes o personal no autorizado. Esta alternativa economizará gastos y tiempo para el mantenimiento preventivo y correctivo del tanque, así como de accesorios, brindando facilidad al personal de mantenimiento. Cabe recalcar que esta ubicación contará con los parámetros de seguridad de acuerdo con la NTE INEN 2260:2010 [30].

### **1.11 Componentes del tanque**

Los recipientes donde se almacena y transporta el GLP son diseñados para este fin (cerrados y presurizados) para prevenir la pérdida de evaporación de los gases. Todos los tanques poseen instrumentos de medición, llaves y válvulas de servicio como se muestra en la Figura 8, a través de la cual se adiciona o retira gas evitando así cualquier elevación o acumulación de presión por causa de un agente externo como una sobre carga o una explosión mecánica, disminuyendo el riesgo de explosión [34].

La explosión mecánica o también llamada expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición (BLEVE, por sus siglas en inglés), es un fenómeno producido por la falla estructural de un recipiente a presión lo que ocasiona una explosión con liberación de

vapores que se expanden al hervir un líquido inflamable, dando lugar a una bola de fuego conocida como fireball [35].



**Figura 8.** Componentes del tanque [13]

A continuación, se detalla los accesorios, instrumentos de medición, llaves y válvulas con las que cuenta un tanque de GLP:

- Válvula de llenado.
- Válvula toma fase líquida.
- Multiválvulas.
- Nivel magnético.
- Válvula de seguridad.
- Manómetro de lectura.
- Purga.

### **1.11.1 Válvula de llenado**

Es el elemento que realiza la conexión de la manguera del equipo del camión cisterna de donde se trasvasa el GLP, en fase líquida y evita que pueda retroceder o salir del depósito realizando un corte rápido del flujo en caso de fuga durante la operación de llenado [13]. Como se muestra en la Figura 9, esta válvula incorpora un check inferior que reduce considerablemente la caída de presión, proporcionando mayores volúmenes de llenado, dando como resultado operaciones más eficientes [36].



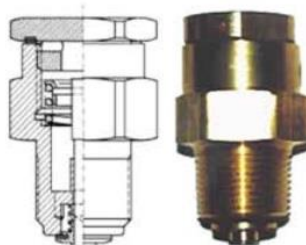


**Figura 9.** Válvula de llenado [36]

Cuando el camión cisterna no tenga acceso vial al área en donde se encuentra el tanque de GLP y exista distancia entre estos dos puntos que sobrepase la longitud de la manguera que posee el camión cisterna para el llenado, se realizará una toma de cargas desplazada.

### **1.11.2 Válvula de toma en fase líquida**

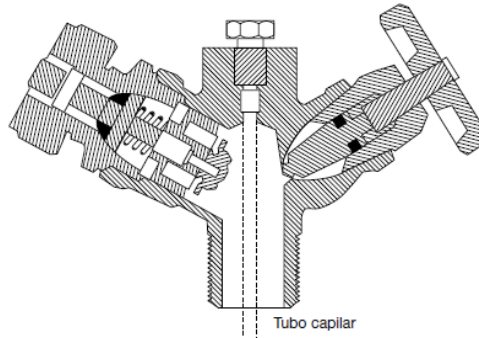
Proporciona la salida de GLP en fase líquida utilizado para el retiro o transferencia del producto, impureza o agua en el taque [31]. También recibe el nombre de válvula check lock, misma que posee un tubo buzo que no llega al fondo, para evitar arrastrar los sedimentos. Como se muestra en la Figura 10, ésta dispone de dos cierres situados fuera del depósito y en el interior del depósito por el exceso de flujo [37].



**Figura 10.** Válvula check lock [37]

### **1.11.3 Multiválvulas**

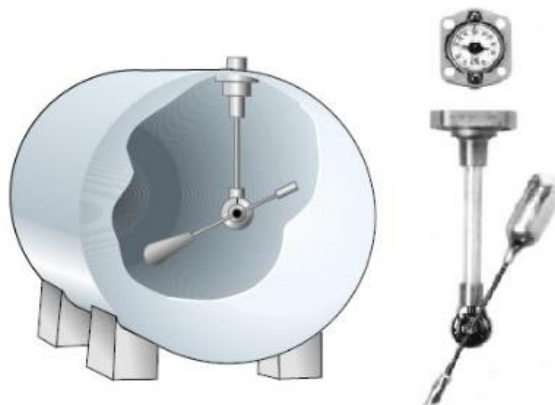
Es el encargado de controlar la salida de GLP en fase gaseosa a los aparatos de consumo. Aloja un indicador de máximo llenado, también posee un orificio de 1/4" para la instalación del manómetro y una conexión para controlar el exceso de flujo, como se muestra en la Figura 11. Tiene como función bloquear la instalación en caso de ruptura de un regulador [38].



**Figura 11.** Multiválvulas [13]

#### 1.11.4 Nivel magnético

Permite determinar el volumen de GLP en estado líquido contenido en el tanque. La información que se obtiene es en porcentaje y no puede exceder el 85 % de llenado [39]. Este instrumento consiste en un imán conectado a un flotante como se muestra en la Figura 12, el cual, al rotar, acciona una aguja magnética en un dial extremo brindando una medida exacta [28].



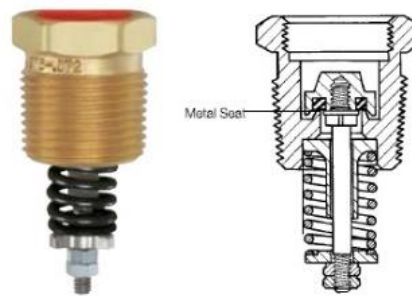
**Figura 12.** Ubicación del nivel magnético [13]

#### 1.11.5 Válvula de seguridad

Dispositivo de alivio de presión diseñado para abrirse y cerrarse, cuya función es permitir que el gas sea liberado al ambiente en caso de altas presiones, evitando fallas mecánicas en el recipiente, como se muestra en la Figura 13. Es importante no bloquearla con elementos que en su momento impidan la apertura [39].

El inicio de apertura para la válvula de alivio es de 1723.7 kPa (250 Psig) conforme a la presión de diseño del tanque y de acuerdo a las normas de la ASME [40]. Todas las guías, resortes, el vástago y los componentes de ajuste se ubican dentro del cilindro,

alejándolos de la exposición directa de materias extrañas y suciedad de la atmósfera [36].



**Figura 13.** Válvula de alivio [41]

#### **1.11.6 Manómetro de lectura**

Es el instrumento que mide la presión de forma continua en el interior del tanque en fase gaseosa. Los manómetros miden la presión relativa respecto a la presión atmosférica. Se puede instalar manómetros de glicerina con el fin de evitar un desplazamiento brusco de la aguja [37].

#### **1.11.7 Purga**

Ubicado en la parte inferior del tanque, es utilizado para evacuar residuos y sedimentos del GLP. Viene con un tapón macho roscable para que, cuando se realiza el mantenimiento del recipiente, se va a drenar el agua por este punto y se coloca una válvula de apertura y cierre.

### **1.12 Vaporización**

La vaporización se produce por una expansión rápida del GLP en estado líquido, para ello, la extracción de vapor de un recipiente reduce la presión contenida. Esto da origen a que el líquido llegue a su punto de ebullición, en un intento por restaurar la presión mediante la generación de vapor para así remplazarlo con el vapor que fue extraído. El calor latente de vaporización (CLV) demandado es entregado por el líquido, ocasionando que la temperatura del líquido descienda como resultado del calor consumido [42]. El calor disipado, a causa de la vaporización del líquido, es sustituido por el calor del aire al líquido mediante la superficie metálica del depósito [42]. Para esto, el área del tanque en contacto con el vapor no se considera, ya que el calor absorbido por el vapor es intrascendente. La superficie del tanque que está humedecida

con este líquido se llama superficie mojada. Mientras más grande sea la superficie mojada, es decir, entre más líquido haya en el tanque, mayor será la vaporización del sistema [42].

Por lo general, el consumo de GLP se lo realiza en estado gaseoso, es necesario que el GLP pase al estado de vapor antes que lleguen al equipo de consumo [43]. La vaporización puede realizarse de forma forzada o de forma natural [13].

Vaporización forzada. Se produce cuando se calienta de forma artificial la fase líquida para provocar la vaporización [44]. Esta vaporización forzada puede ser necesaria en algunos casos [13]:

- a) Cuando las temperaturas ambientales son muy bajas, lo que impide que se vaporice lo suficiente [13, 44].
- b) Cuando un recipiente no logra cubrir la demanda de un equipo, este empieza a sudar y luego sus paredes empiezan a cubrirse de escarcha esto debido a la gran demanda [28].

Vaporización natural. Cuando el gas sale directamente del recipiente a los puntos de consumo, al accionar o abrir la llave, desplazándose por el interior de las cañerías gracias a la presión obtenida por la vaporización natural ubicada en la parte superior del tanque como se muestra en la Figura 14, existen factores que afectan a la vaporización natural en el interior del tanque:

- a) La mezcla comercial de GLP que se utiliza en el mercado nacional.
- b) La cantidad de líquido existente en el depósito, la cual varía de acuerdo con las dimensiones del tanque ya que a mayor superficie mayor vaporización.
- c) Los depósitos enterrados absorben el calor de la tierra que los rodea ya que suele estar más caliente en invierno que el aire al ambiente, pero en cambio cuando se enfría la tierra forma hielo y aísla el depósito dificultando la vaporización [45].
- d) La temperatura ambiental que exista alrededor del tanque, donde a mayor temperatura de su exterior, mayor será la vaporización del GLP, en su interior.

Conociendo todas las características del GLP, el material con el que se fabrica el cilindro y los entornos ambientales se logrará determinar la cantidad de GLP que se vaporiza. El método para estimar esta cantidad en función a la geometría del tanque y temperatura ambiental está expresado de la siguiente manera [42]:

$$C_v = f_t D_t L_t K \quad (1)$$

Donde:

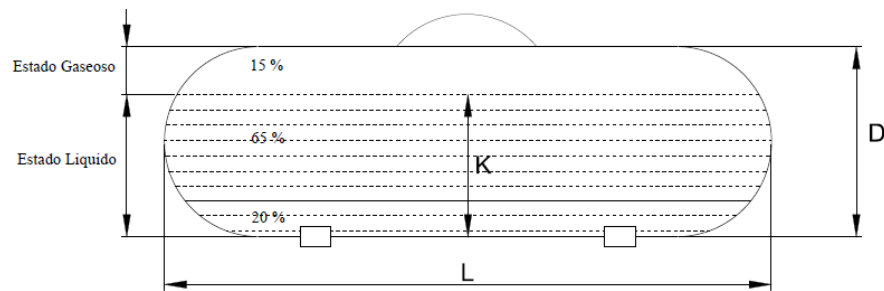
$D_t$ : Diámetro del tanque; (m)

$L_t$ : Longitud del tanque; (m)

$C_v$ : Capacidad de vaporización; (W)

$f_t$ : Factor de corrección de temperatura (Tabla 5)

$K$ : Constante de porcentaje para el volumen del líquido en el tanque (Tabla 6)



**Figura 14.** Parámetros para la vaporización del tanque de GLP. Elaborado por: Andres Rea

Para la aplicación de esta ecuación, se tomó en consideración la temperatura de GLP en estado líquido a  $-28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que produce un diferencial de temperatura de  $28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la transferencia de calor del aire a la superficie mojada del recipiente y de allí al líquido [44]. No se considera el área de vapor del recipiente, ya que es insignificante [46].

### 1.12.1 Factor de corrección de temperatura ( $f_t$ )

Es un factor dependiente de la temperatura que existe en el aire, requerido en el cálculo de vaporización de acuerdo con la temperatura que rodea al tanque [47]. En este factor, se considera la menor temperatura del ambiente en donde se ubique el tanque. Para ello, en la Tabla 5, se muestra los distintos factores de temperatura al igual que distintas condiciones.

**Tabla 5.** Factor de corrección de temperatura [46]

Temperatura del Aire		$f_t$
° F	° C	
40	4.4	3
45	7.2	3.25
50	10.0	3.5
55	12.8	3.75
60	15.6	4
65	18.3	4.25
70	21.1	4.5
75	23.9	4.75
80	26.7	5

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), registró una temperatura máxima absoluta en la región interandina perteneciente a Iñaquito con 26.6 °C (febrero del 2019) [48].

### 1.12.2 Constante de porcentaje para volumen del líquido en tanque de GLP

Es una constante que depende del porcentaje de volumen de líquido en el recipiente, ya que para el cálculo de vaporización se toma en cuenta el volumen máximo y mínimo [47]. A continuación, se muestra los valores de la constante  $K$  en la Tabla 6, detallando el volumen del GLP en estado líquido del recipiente a ser calculado.

**Tabla 6.** Constante  $K$  [46]

$K$	Porcentaje del tanque
100	60
90	50
80	40
70	30
60	20
45	10

### 1.12.3 Factor de simultaneidad

Una instalación de GLP, en el ambiente industrial, posee un factor de simultaneidad de 1, esto debido a que todos sus equipos están funcionando a su máxima capacidad por un largo tiempo. Pero en las instalaciones residenciales y edificios el factor de simultaneidad va disminuyendo, ya que no todos los equipos de consumo funcionan en el mismo momento. Este factor de simultaneidad  $K$  afectará a la potencia total de la instalación [28]:

$$P_{real} = P_{consumo} \cdot k \quad (2)$$

Donde:

$P_{real}$  Potencia real afectada por el factor de simultaneidad; (W)

$P_{consumo}$  Potencia de consumo; (W)

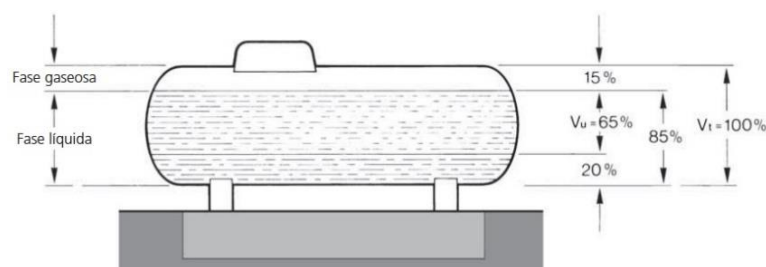
$k$  Factor de simultaneidad

### 1.12.4 Autonomía de la instalación

Autonomía, va a ser el mínimo tiempo determinado en días que debe cumplirse entre dos cargas continuas al depósito de la instalación [49]. Al disminuir el porcentaje de GLP en el interior del tanque, la capacidad de vaporización también disminuye, llegando al punto donde el gas no cubre la demanda existente [50].

### 1.12.5 Capacidad útil

Se toma en cuenta el nivel de máximo llenado para el depósito, siendo el 85 % de su capacidad total para depósito a 20 °C como se muestra en la Figura 15, por otra parte, no se vaciará más del 20 %, obteniendo un volumen útil de 65 % de su volumen nominal (volumen geométrico) [49].



**Figura 15.** Vaporización de GLP [49]

$$V_u = 0,65 V_n \quad (3)$$

Donde:

$V_u$ : Volumen útil; ( $m^3$ )

$V_n$ : Volumen nominal; ( $m^3$ )

En primer lugar, se necesita calcular el consumo diario en la época de mayor consumo, teniendo en cuenta la potencia del equipo instalado y las horas de funcionamiento [49]. Conocido este valor, expresado en kilogramos, y considerando la masa volumétrica del propano, 510 kg/ $m^3$ , el consumo diario es [49]:

$$V_d = M (510) \quad (4)$$

Donde:

$V_d$ : Volumen de propano consumido en 1 día; ( $m^3$ )

$M$ : Consumo equipo total; ( $kg$ )

$Cte$ : Masa volumétrica del propano; (510  $kg/m^3$ )

A continuación, se fijará el número de días para calcular el volumen necesario:

$$V_a = V_d d \quad (5)$$

Donde:

$V_a$ : Volumen necesario

$d$ : Número de días fijado

Por consiguiente, para el consumo  $V_a$  en los días de autonomía establecidos, el volumen nominal del depósito necesario es:

$$V_n = \frac{V_a}{0,65} \quad (6)$$

Donde:

$V_a$ : Volumen necesario; ( $m^3$ )

$V_n$ : Volumen nominal; ( $m^3$ )



Por lo tanto, para un consumo diario de  $M$ , la autonomía en días de un depósito de volumen nominal  $V_n$  es:

$$d = 510 \times 0,65 \left( \frac{V_n}{M} \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

### **1.13 Sistema de distribución**

El sistema de distribución se va a diseñar de acuerdo a la NTE INEN 2260:2010. Este sistema se encarga de transportar el GLP desde los tanques de almacenamiento hasta los puntos de consumo. Estas tuberías deben cumplir con ciertos aspectos.

Deberán poseer una resistencia mecánica cumpliendo todos los requisitos de las normas para cada tipo de tubería, siendo resistente al medio exterior y a la acción del GLP en estado líquido y gaseoso. Toda tubería vista y oculta deberá ser señalada, identificada de acuerdo con los colores de la NTE INEN 14726:0214 [1].

### **1.14 Tubería de GLP utilizada en fase gaseosa**

Esta tubería deberá soportar una presión de 2000 kPa como mínimo, siendo tramos que parten desde el tanque de GLP hasta el equipo de consumo. Previo a los reguladores de presión, existe diferente tipo de tubería para transportar GLP en estado gaseoso, como tubería de acero al carbono, tubería de acero inoxidable flexible corrugada, tubería de acero inoxidable rígida, tubería de cobre rígida o flexible y tubería de polietileno mismas que a continuación se detalla sus características [1].

#### **1.14.1 Tubería acero al carbono**

Esta tubería debe ser mínimo cédula 40 y de acuerdo con las normas Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) A53 (grado A y B) o ISO 65 (serie Heavy), negro o galvanizada por inmersión en caliente [10].

#### **1.14.2 Tubería de acero inoxidable flexible corrugada**

Esta debe ser de tipo CSST fabricada según las especificaciones del Instituto Nacional de Normalización Estadounidense, normas ANSI/AGALC1 [10].

#### **1.14.3 Tubería de acero inoxidable rígida**

Esta debe ser de Tipo AISI 304 L y AISI 316 L según ASTM A 240, fabricada según las especificaciones dimensionales y de presión de las normas Industriales Japonesas (JIS) G 3448 o normas Nacional Española (UNE) 19-049-1, ASTM A 312 M [10].

#### **1.14.4 Tubería de cobre rígida**

Estas tuberías son muy utilizadas, ya que siendo de cobre, soporta niveles de temperaturas elevados. En la actualidad, se utiliza tubería de cobre tipo K o L sin costura, según la Organización Internacional de Normalización, normas (ISO) 1640 o ASTM B 88.

#### **1.14.5 Tubería plástica**

Las tuberías de polietileno (PE) poseen alta resistencia química frente a sustancias puras o diluidas, debido al amplio rango de pH, por lo tanto, no tienen ningún efecto adverso sobre ellas. Cuentan con la presencia de agentes orgánicos odorizantes, condensados del gas, lixiviados de rellenos sanitarios, aguas residuales u otras sustancias químicas [51].

La tubería PE es un material viscoelástico, por lo que puede absorber impactos. Una de las grandes ventajas del PE es cuando se somete a esfuerzos de tensión, ya que esta propiedad se manifiesta cuando se presentan sismos, terremotos o deslizamiento de terrenos [51]. Las tuberías (PE) deben ser utilizadas exclusivamente en instalaciones enterradas de acuerdo a la INEN 2260:2010.

#### **1.15 Tubería para GLP en fase líquida**

Para esta fase, según la Norma NTE INEN 2260:2010 numeral 7.10.1.3 literal a), las tuberías y accesorios deben ser calculados para soportar una presión mínima de diseño de 1730 kPa (250 psi) [10]. Así mismo, las uniones de las tuberías deben ser por soldadura o uniones soldadas [1].

Los materiales autorizados para las tuberías que conducen GLP líquido son acero ASTM A53 B, con un espesor mínimo cédula 40 sin costura o acero inoxidable ASTM A312, 304L / 316 L de espesor mínimo cédula 40 según la INEN 2260:2010 [1].

Adicionalmente, se va a instalar una válvula de exceso de flujo en la tubería que transporta GLP en estado líquido.

Son llamadas también líneas de carga, mismas que abastecen al tanque como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16.** Válvula de alivio en línea de carga [28]

### **1.16 Uniones de tuberías para GLP**

Las uniones de los tubos entre sí, y de éstos con los accesorios y elementos de las instalaciones, se deben hacer de forma que el sistema utilizado asegure la estanqueidad, sin que esta sea afectada por los distintos tipos y presiones de gas que se puedan suministrar, ni por el medio exterior que estén en contacto [10].

#### **1.16.1 Uniones mediante soldadura**

En general las técnicas de soldadura y los materiales de aportación para su ejecución deben cumplir con unas características mínimas de temperaturas y tiempo de aplicación, resistencia a la tracción, resistencia a la presión y al gas distribuido debiendo ser adecuadas a los materiales a unir [1]. El proceso de soldadura y los soldadores que lo apliquen deben estar calificados, según Código ASME Sección IX o ANSI/AWS A 5.8 o NTE INEN 128 [1].

Unión cobre-cobre o aleación de cobre. Las uniones de tubos de cobre se deben realizar mediante soldadura por capilaridad, a través de accesorios de cobre o de aleación de cobre y utilizando materiales de aporte clasificados como soldadura fuerte llegando a

fundirse el material de aporte a un mínimo de 500 °C [52]. Cumpliendo con los parámetros de la norma ANSI/AWS A5.8 [52].

Unión Polietileno-Polietileno. Las uniones de los tubos y accesorios de PE deben realizarse mediante soldadura por electrofusión o termofusión, que sean compatibles con los tubos y accesorios a unir [53]. Para hacer una transición de polietileno a metal o viceversa se podrá usar accesorios mecánicos de tipos por compresión o accesorios de transición ensamblados en fábrica.

Unión acero-acero. Las uniones de los tubos y accesorios de acero deben realizarse mediante soldadura eléctrica al arco [54]. Para diámetros nominales, (DN), inferiores o iguales a 50 mm, se podrá utilizar soldadura oxiacetilénica [55].

Uniones desmontables. Aquí se utiliza uniones por bridas. Las bridas deben ser conforme a las características y dimensiones que se indica en la norma UNE-EN 1092-1 o ANSI-ASME B 16.5 intercalando entre ellas una empaquetadura [1].

Las juntas o empaquetaduras utilizados para retener el GLP, deben ser resistentes a la acción de éste y deben estar hechas de metal o de otro material adecuado, confinado en metal que posea un punto de fusión mayor que 816 °C o deben hallarse protegidas de la exposición al fuego [1, 53].

Uniones roscadas. Se deben realizar únicamente sobre tubos de acero mínimo cédula 35 o de espesor superior. Debe asegurarse la estanqueidad mediante un compuesto anaeróbico, un compuesto no endurecible o bien, con cinta de estanqueidad de politetrafluoroetileno (PTFE, también conocido comercialmente como teflón) [1]. La rosca de la unión debe ser del tipo cónico y debe cumplir con los parámetros de la NTE INEN 117, ANSI/ASME B1.20.1 o ISO 7/1 [1].

Las uniones entre tuberías, en instalaciones interiores, pueden ser roscadas cuando la presión de servicio no exceda de 35 kPa, en cambio para las instalaciones exteriores pueden ser roscadas cuando la presión de servicio no exceda de 68 kPa [1]. No deben usarse uniones de tipo roscado para tuberías de diámetro nominal (DN) mayor que 50 mm [1].

### 1.17 Cálculo de conducciones

Para el cálculo del diámetro de tuberías, se presentan dos alternativas, primero el método de mayor longitud en el que se requiere la mayor longitud y la demanda total de los equipos [56]. Y en segundo lugar, aplicando la fórmula cuadrática de Renouard, tomando en cuenta la presión de trabajo del quemador, las pérdidas de presión máximas en el tramo. Adicional se tendrá presente el manejo del estado de fluido a ser transportado en su interior, pudiendo presentarse en estado líquido o gas, la presión a la que se someterá, la velocidad a la que se desplaza el producto, existiendo una gran diferencia entre la conducción de GLP en estado líquido o estado gaseoso. Así se llegará a los puntos de consumo, excluyendo los reguladores de primera y segunda etapa [45].

A continuación, se presenta el modelo matemático utilizado para el cálculo de diámetro de tubería en instalaciones de gas más utilizada, puntualizando que son presiones bajas hasta 10 kPa [47], teniendo en cuenta que, para el caso en estudio, la presión de conexión del equipo es de 50 kPa (7.25 psi).

$$P_1^2 - P_2^2 = 23200 \times d_r \times L_E \times Q^{1,82} \times D^{-4,82} \quad (8)$$

Donde:

$P_1, P_2$ :	Presión inicial y final del tramo; (kPa)
$d_r$ :	Densidad relativa del gas; 1.54 para el GLP
$L_E$ :	Longitud equivalente del tramo total; (m)
$Q$ :	Caudal en condiciones normales; (m <sup>3</sup> /h)
$D$ :	Diámetro interior del tubo; (m)

### 1.18 Reguladores de presión

Son equipos de elevada sensibilidad, cuya apropiada elección depende el buen funcionamiento de la instalación. Estos deben garantizar el suministro de gas en la cantidad y a la presión requerida en varias condiciones de servicio.

La función de los reguladores de presión de gas es la de reducir la presión del gas que está disponible para la presión de gas requerida por el quemador. Conjuntamente se

deben instalar con los elementos que permitan un uso eficiente, así como de fácil mantenimiento y reposición [41].

### 1.19 Tipos de regulación

Existen tres tipos de regulación que se pueden aplicar a las instalaciones de GLP mostradas en la Tabla 7, mismas que dependerán de la complejidad del sistema y por la necesidad de reducción de presión que se presente en la instalación de la máxima operación de servicio.

Los reguladores más reconocidos en el mercado ecuatoriano son de la empresa norteamericana REGO seguido por la marca RECA, NOVA y otras, diseñadas para ser utilizadas en sistemas de regulación de única etapa y de forma independiente, estos reguladores de primera etapa que son esenciales en sistemas de altas presiones y los reguladores de segunda etapa que son requeridos para sistemas de baja presión [57]. Los elementos de regulación, válvulas de seguridad y demás accesorios que se utilicen en una instalación de gas combustible, en canalizaciones y acometidas deben ser diseñados tomando en cuenta los valores máximos del rango de la Presión Máxima de Operación (PMO manométrica) [57, 58].

**Tabla 7.** Clasificación de reguladores de precisiones [1]

Tipo de regulación	Rango de presión
Alta presión (AP)	200 kPa < PMO < 500 kPa
Media presión (MP)	35 kPa < PMO < 200 kPa
Baja presión (BP)	MPO < 35 kPa

Para esto, la Norma NTE INEN 2260: 2010 numeral 7.2 Literal b), expone que la máxima presión de operación permisible en sistemas de tuberías instaladas en el interior de las viviendas (departamentos, casas) debe ser hasta 35 kPa [1].

### 1.20 Dispositivo de control

Conocidos generalmente como llaves de corte, son los instrumentos encargados de cumplir las características en cuanto a funcionamiento, mecánicas y materiales,

indicadas en la norma UNE 19679. En todos los casos las llaves de corte serán de accionamiento manual y de obturador esférico [47].

Las llaves son de suma importancia en las instalaciones de GLP ya que sirven para el accionamiento o cierre del fluido líquido o gaseoso. Estas llaves son diseñadas para resistir las presiones de trabajo en diferentes niveles de temperaturas como (llaves de asiento, llave de bola, llave de mariposa).

#### **1.20.1 Llave de asiento**

Antiguamente llamada tipo globo, se trata de un husillo portador de un obturador que se desplaza verticalmente sobre el asiento de la llave, a modo de un tapón se acciona mediante un volante [59]. Al descender el obturador entra en contacto con el asiento, dejando de girar para evitar el desgaste sobre el asiento [13].

#### **1.20.2 Llave de bola**

Este funciona como las válvulas de macho cónico, con la diferencia que el obturador es una bola aplicada en gas, aceite, agua potable, la cual posee una temperatura de funcionamiento de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) /  $+170\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $350\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) a una presión de funcionamiento PN40 (600 *PSI*) hasta 2", PN30 4136 kPa (450 psi) de 2 1/2 a 4'' [59]. Tienen roscas hembra por hembra cónicas con vástago de latón, chapado en níquel a prueba de fundido y asientos auto lubricantes de PTFE puro con diseño de labio flexible [60]. La palanca en posición abierta debe ser paralela a la conducción.

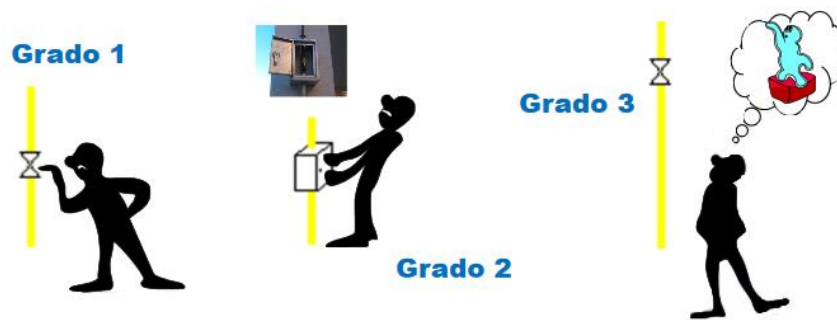
#### **1.20.3 Llave de mariposa**

Parecida a las de compuerta, pero con la diferencia que el obturador gira un cuarto de vuelta sin desplazamiento sobre su eje vertical de forma que, la posición abierta la baña en posición de perfil como se muestra en la Figura 17 [59]. La ubicación de las válvulas de corte general debe poseer grados de accesibilidad de acuerdo con la NTE INEN 2260:2010 donde deben cumplir con la siguiente especificación.

Grado 1: acceso sin cerraduras y sin escaleras o medios mecánicos.

Grado 2: acceso con cerradura normalizada y sin escalera o medios mecánicos

Grado 3: acceso con escalera o medios mecánicos o pasando por una zona privada.



**Figura 17.** Grados de accesibilidad a válvulas [61]

## 1.21 Conectores flexibles

Es el componente de un sistema de tuberías fabricado de material flexible resistente al GLP, como una manguera, y equipado con terminales apropiados en los dos extremos para su conexión [10]. Las mangueras para alta presión son utilizadas en la conexión al tanque, (línea de carga o línea de alimentación) aplicándose también en uniones de tubería y las mangueras para la conexión a equipos de consumo.

### 1.21.1 Mangueras de alta presión

Las mangueras son diseñadas para trabajar con presiones manométricas de 2400 kPa (350 psig) con un factor de seguridad de 5 a 1 y deberán ser marcadas continuamente con GLP, propano, presión de trabajo, 350 psi y con el nombre del fabricante o marca registrada.

Como se muestra en la Figura 18, los conectores flexibles y mangueras utilizadas deberán ser resistentes a la acción del GLP tanto líquido como vapor. No deberán exceder de 1 m (36 pulgadas) de longitud [33].



**Figura 18.** Manguera de alta presión [33]



### 1.21.2 Manguera para equipos de gas

Accesorio utilizado para aplicaciones domésticas e industriales. Sus propiedades principales son autoextensible, flexible, liviana, resistente al gas GLP en fase vapor o aire, con mezcla de gas propano, alto margen de seguridad porque la presión de rotura a 20 °C es tres veces la presión de trabajo, temperatura de 60 °C en servicio continuo.

Como se muestra en la Figura 19, estas son ideales para el suministro de gas en cocinas, hornos, quemadores, equipos de soldadura y demás elementos que lo utilicen posee un diámetro de 5/16'' y soporta presiones hasta 1379 kPa (200 psi) [36].



**Figura 19.** Manguera para conexión de equipos [36]

### 1.22 Equipo de consumo

Son aquellos que funcionan con una gran o poca demanda de GLP. Estos equipos se pueden utilizar para la cocción de alimentos, aseo personal en el calentamiento de agua (calderas), procesos de producción, como hornos y en procesos de fundición, como el horno crisol mostrado en la Figura 20. Estos hornos se usan específicamente para fundir y mantener el calor de las aleaciones de aluminio y zinc, el sistema de centralizado cubre la demanda de todos los equipos con que cuenta el proyecto para su buen funcionamiento [62].



**Figura 20.** Hornos de fundición a gas [62]

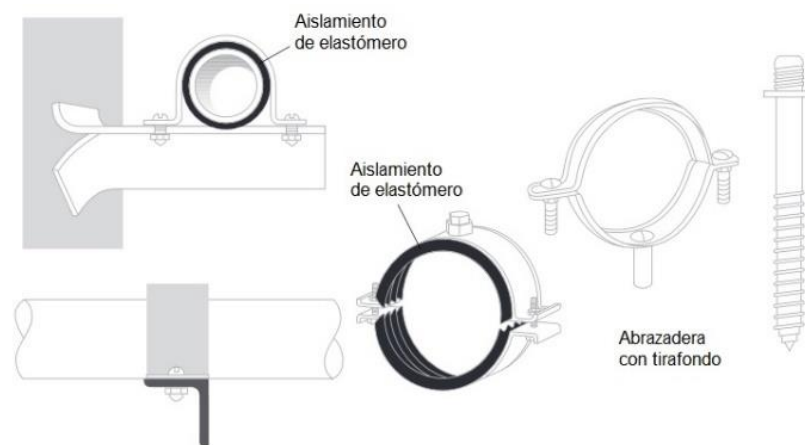
### 1.23 Elementos de sujeción de tuberías

Todas las tuberías que se instalen totalmente vistas deberán estar sujetas a las paredes o techos por medio de elementos de sujeción del tipo abrazaderas o soportes-guía. Estos sujetadores o soporte deberán ser, de acuerdo a la tipología de los corridos de tubería o instalación, sujetando tuberías independientes o varias [63].

Para la fijación de tuberías deberá utilizar herramienta como destornillador (plano o estrella) o llaves de boca o corona, evitando que esta sujeción se realice de manera manual por presión y que para su desmontaje se la realizará de la manera antes mencionada.

Las abrazaderas o soportes permiten que la tubería, se encuentre en contacto con techos, paredes e incluso con el soporte metálico y entre tuberías. Estas abrazaderas deberán estar diseñada para poseer una separación adecuada entre tuberías [63]. Los soportes o abrazaderas deberán ser fabricados con materiales resistentes la corrosión, tensión y temperaturas ambientales.

La tubería deberá aislarse o embalsarse para evitar el contacto con la abrazadera o soporte metálico, utilizando material plástico o policloruro de vinilo (PVC) como cinta ducto o manguera, siendo ubicada en todo su contorno donde específicamente es la zona de contacto [63] como se muestra en la Figura 21.



**Figura 21.** Soporte de tubería [63]

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE UNA ESTACIÓN CENTRALIZADA DE GLP

El Laboratorio de Fundición de la Universidad Politécnica Salesiana cuenta con un horno crisol, el cual se utiliza para las prácticas de los estudiantes en el proceso de fundición. El encendido y operación del horno requiere de cuatro tanques funcionando simultáneamente, apoyados por un regulador de presión 1584VN que llega a cubrir la demanda del quemador por un corto tiempo.

Esto es debido a que el volumen de gas no abastece, obligando a realizar un cambio de cilindro. A la misma vez se verifica que no cumple con las normativas que rigen a nivel nacional, careciendo de factores de seguridad y los permisos de factibilidad, ni idoneidad de la instalación [64]. En el Anexo 1, se detallan los requisitos para la obtención de los documentos antes mencionado en el Cuerpo de Bomberos de Quito (CBQ).

#### 2.1 Tanques de GLP

Actualmente, se utilizan cuatro tanques de GLP de uso industrial con capacidad de 45 kg cada uno y existen cuatro tanques para su reposición, ubicados en un mismo depósito junto a Laboratorio de Fundición. Esta actividad puede causar un accidente y deterioro de los conectores al presentarse desgaste lo que puede generar fugas de gas.

#### 2.2 Equipo de consumo

El horno crisol posee un quemador de fuego directo tipo G1/1-E en la Tabla 8, se detalla los datos técnicos del horno existente en el laboratorio de fundición.

**Tabla 8.** Placa del quemador G1/1- E

-Weishaupt-	Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi, Germany		
CE 0085	Quemador tipo	G1/1-E Destino	
CE-	Ejecución	ZD Protección	IP 54
0085AP0519	N° fabricación	5980422	Cat. II2R3R

Made in Germany	Año de fabricación	2010	Tipo de gas F
	Potencia	min. 60 máx. 335	kW
	Presión conex	min. 15 máx. 500	mbar
	Gasóleo	min.      max.	kg/h
	NOx-CI. 2		
	Tensión mando	220 V, 1, 60 Hz	10 A gl
	Tensión red	220 V, 3, N, PE	60 Hz
	Potencia eléctrica	1,75 kW	kW

Elaborado por: Andres Rea

### 2.3 Selección de alternativa

Una vez evaluada la situación actual del laboratorio de fundición (Ver Anexo 11), es necesario la implementación de un sistema centralizado de GLP, mismo que contará con un tanque de GLP horizontal para cubrir la demanda del quemador, ubicada a nivel del terreno junto al laboratorio de fundición como se observa en la Figura 22.



**Figura 22.** Ubicación del tanque de GLP. Elaborado por: Andres Rea

Considerando como prioridad los parámetros de seguridad, eficiencia del sistema para su buen funcionamiento, recorridos de tuberías por sitios seguros e instalación de accesorio y equipos en sitios accesibles para uso exclusivo del personal calificado, se muestra la Tabla 9.

**Tabla 9.** Distancias mínimas de seguridad [1]

Clasificación	Instalaciones sobre nivel del terreno					
	A-A		A-0		A-1	
	Volumen $V_{m^3}$ $0,11 < V \leq 1$		$1 < V \leq 5$		$5 < V \leq 10$	
Distancias (S o S1) m	S	S1	S	S1	S	S1
Referencia 1	-	-	-	<b>0,6</b>	-	0,6
Referencia 2	-	-	-	<b>1,3</b>	-	1,3
Referencia 3	-	-	-	<b>0,6</b>	-	0,6
Referencia 4	3,0	-	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>	5,0	3,0
Referencia 5	6,0	-	<b>6,0</b>	-	10,0	-
Referencia 6	3,0	-	<b>3,0</b>	-	3,0	-
S:	Distancia desde la válvula de alivio de presión del tanque en metros					
S1:	Distancia desde las paredes del tanque en metros					
Referencia 1	Espacio libre alrededor de la proyección sobre el terreno del depósito					
Referencia 2	Distancia al cerramiento de la estación					
Referencia 3	Distancia a muros o paredes ciegas (RF-120)					
Referencia 4	Distancias al lindero de la propiedad, aberturas de inmuebles, focos fijos de inflamación, motores de explosión, vías públicas, férreas o fluviales, sótanos, alcantarillas y desagües [65].					
Referencia 5	Distancias a aberturas de edificios para uso docente, sanitario, hospedaje, culto, acuartelamientos, centros comerciales, museos, bibliotecas y estaciones de servicios [65].					
Referencia 6	Distancia de la boca de carga al tanque cisterna.					

Se detalla las distancias de seguridad para instalaciones centralizadas de GPL, sobre el nivel del terreno, mismo que se puede reducir hasta un 50% de su totalidad construyendo un muro corta fuego. La instalación de un sistema centralizado de GLP proporciona una autonomía de funcionamiento, evitando la constante manipulación de equipos de GLP aumentando los años de vida útil de válvulas conectores flexibles o fijos.

## 2.4 Diseño de la instalación centralizada de GLP

Para el diseño de una estación centralizada de GLP se toma muy en cuenta toda la información recopilada anteriormente, así como la potencia requerida mostrada en la Tabla 10, cumpliendo las exigencias de las normativas como la NTE INEN 2260:2010, Regla Técnica Metropolitana (RTQ), Registro Oficial 114 y la Ordenanza Metropolitana 0470. Con la finalidad de obtener resultados exactos, se utilizarán todos los métodos de cálculo mencionados en el capítulo 1, para ello 1 kW es aproximadamente 3412 BTU/h.

**Tabla 10.** Potencia de consumo del quemador de kW a BTU/h

Descripción	Cantidad	Potencia de consumo (kW)	Potencia de consumo (BTU/h)
Quemador G1/1-E	1	335	1143735.06

Elaborado por: Andres Rea

## 2.5 Demanda total del quemador

Para este cálculo, se toma en cuenta las especificaciones técnicas del equipo de consumo multiplicado por el factor de simultaneidad.

$$P_{real} = P_{consumo} K$$

$$P_{real} = 1143735.06 \times 1$$

$$P_{real} = 1143735.06 \frac{Btu}{h}$$

Luego, la potencia real se divide para el índice de vaporización en el tanque de gas, siendo 50000 Btu/kg proveniente de la mezcla de gases del GLP [46] y finalmente se multiplica por el tiempo de funcionamiento, frecuencia de operación del horno crisol mismo que cuenta con un quemador G1/1-E.

$$P_{total} = \frac{P_{real}}{I_{vaporizacion}} \quad (9)$$

$$P_{total1} = \frac{114373506 \frac{Btu}{h}}{50000 \frac{Btu}{kg}}$$

$$P_{total1} = 22,8747 \frac{kg}{h}$$

$$P_{total2} = P_{total1} \times t \quad (10)$$

$$P_{total2} = 22,8747 \frac{kg}{h} \times 1 \frac{h}{dia}$$

$$P_{total2} = 22,8747 \frac{kg}{dia}$$

## 2.6 Dimensionamiento del tanque de GLP

El dimensionamiento, se lo realiza con el valor de potencia real requerida máxima por el quemador según la Tabla 11. Se detalla las especificaciones del tanque horizontal para la posible instalación junto al laboratorio de fundición.

**Tabla 11.** Parámetros para el dimensionamiento del tanque

Tanque de GLP horizontal	
Capacidad demanda total del quipo	1.143.735,06 (BTU/h)
Mezcla de GLP	70% propano, 30% butano
Tanque lleno al	60 %
Temperatura ambiente	10 °C
Presión en el tanque	60 a 120 psi
Ubicación del lugar	2.850 msnm
Capacidad del tanque	2 m <sup>3</sup>

Elaborado por: Andres Rea

Se estima que para cubrir la demanda del quemador se requiere un tanque de GLP con capacidad de 2 m<sup>3</sup>. En el Anexo 2 se muestra la ficha técnica del tanque.

## 2.7 Cálculo de vaporización del tanque de GLP

A continuación, se realiza el cálculo de la vaporización del tanque seleccionado, en la cual se verificará que la vaporización cubra la demanda del quemador, a una cantidad no menor al 40% de capacidad del tanque aplicando la ecuación 1.

El factor de corrección de temperatura a 10 °C toma el valor de 3.5 y la constante de porcentaje es 80 para el volumen del líquido en el tanque al 40 % de su capacidad.

$$C_v = f_t D_t L_t K$$

$$C_v = 3.5 \times 36 \times 120.5 \times 80$$

$$C_v = 1.214.640,00 \text{ Btu} / h$$

De los cálculos se concluye que, la vaporización del tanque abastece la demanda del equipo de consumo, para ello se muestra en el Tabla 12, los porcentajes y temperaturas a las que cubre la demanda del quemador.

$$C_v = 1.214.640,00 \text{ Btu} / h > 1.143.735,06 \text{ Btu} / h$$

**Tabla 11.** Tabla de vaporización natural a diferente temperatura y capacidad

Temperatura en °C	Capacidad de llenado					
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %
10	683235,00	910980,00	1062810,00	1214640,00	1366470,00	1518300,00
21.1	878445,00	1171260,00	1366470,00	1561680,00	1756890,00	1952100,00
23.9	927247,50	1236330,00	1442385,00	1648440,00	1854495,00	2060550,00
26.7	976050,00	1301400,00	1518300,00	1735200,00	1952100,00	2169000,00

Elaborado por: Andres Rea

## 2.8 Capacidad volumen útil del tanque

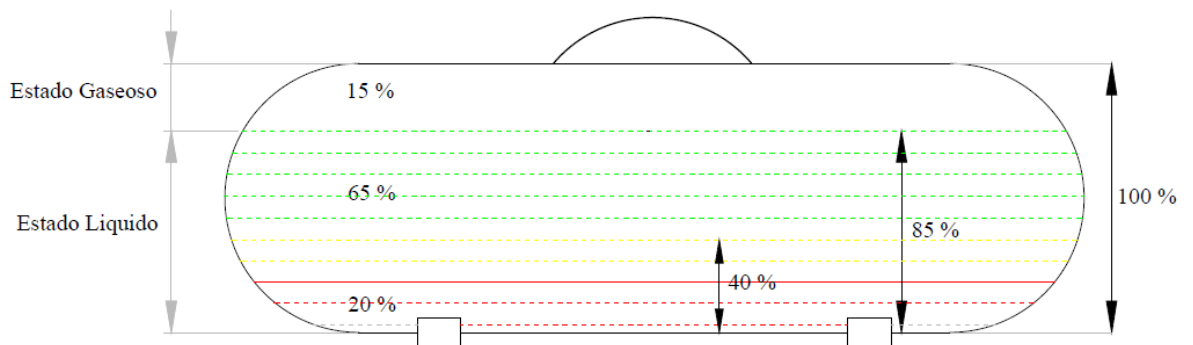
Se toma en cuenta el 85 % de la capacidad total para el depósito mayor a 10 °C. Sin embargo, la demanda es cubierta en el 40 % de su capacidad de llenado y a una temperatura no menor a 20 °C. Por consiguiente, no se cubrirá la demanda si el porcentaje disminuye con la temperatura antes mencionada.



$$V_u = 0,45 V_n = 0,45 \times 2 = 0,9 m^3$$

$$V_u = 0,65 V_n = 0,65 \times 2 = 1,3 m^3$$

Para una mejor explicación, se presenta la Figura 23, donde se puede observar la capacidad útil del tanque mínima, que es similar al funcionamiento de un semáforo, con la diferencia en porcentajes de llenado.



**Figura 23.** Capacidad útil del tanque de GLP. Elaborado por: Andres Rea

## 2.9 Autonomía del sistema

Es importante saber qué tiempo durará el GLP para poder solicitar el abastecimiento con una o dos semanas de anticipación. Para ello la información antes mencionada, proporciona ecuaciones para realizar los cálculos de autonomía con las que cuenta el sistema de gas centralizado pudiéndose coordinar el próximo abastecimiento a la empresa designada.

Después de calcular el valor del consumo diario, 22.8 kg, en la ecuación 10 se lo multiplica por la masa volumétrica del propano, 510 kg/m<sup>3</sup>.

$$V_d = M (510)$$

$$V_d = 22,8(510)$$

$$V_d = 0,044 m^3$$

Aplicando la ecuación 5, se determina el volumen necesario  $V_a$  sugiriendo el número de días para su autonomía, 30 días.

$$V_a = V_d \cdot d$$

$$V_a = 0,044 \times 30$$

$$V_a = 1,32 \text{ m}^3$$

Por consiguiente, para el consumo  $V_a$  en los días de autonomía establecidos, el volumen nominal  $V_n$  del depósito necesario es:

$$V_n = \frac{V_a}{0,65}$$

$$V_n = \frac{1,32}{0,65}$$

$$V_n = 2,03 \text{ m}^3$$

Finalmente, aplicando la ecuación 7 se obtiene la autonomía del sistema de GLP. Considerando los valores previamente calculados, como la masa volumétrica del propano, el porcentaje útil del tanque de GLP, el volumen nominal y el consumo del equipo, la autonomía en días de un depósito de volumen nominal es:

$$d = 510 \times 0,65 \left( \frac{V_n}{M} \right)$$

$$d = 331,5 \times \left( \frac{2,03}{22,8} \right)$$

$$d = 29,51 \text{ días}$$

## 2.10 Diseño de tuberías

En el cálculo de la tubería que conducirá GLP en estado gaseoso y estado líquido, al analizar las Normas NTE INEN 2260:2010 y la UNE 60670-4, se debe tener presente las limitaciones de acuerdo a la máxima presión de operación permisible (MPOP), en sistemas de tuberías instaladas para gas, debiendo ser de acuerdo a la NTE INEN 2494:2009 [66, 65]. Dichas especificaciones se detallan en la Tabla 13.

**Tabla 12.** Clasificación de la MPOP [66]

MPOP	Clase de tubería	Clase de usuarios	GLP kPa (bar)
Alta presión: P > 500 KPa	Línea de transporte	Industriales	N.A.
	Línea primaria	Industriales	N.A.
	Derivadas de la línea de transporte o línea de llenado	Industriales	N.A.
	Líneas secundarias	Exteriores a la edificación	200 (2)
Media presión: 14 KPa (140 mbar) < P = 500KPa	Líneas de acometida		
	Líneas matrices	Industriales	200 (2)
	Derivadas de las líneas secundarias para suministro de gas		
	Líneas matrices en interiores para suministro de gas	Residenciales y comerciales	35 (0,35)
	Líneas individuales para suministro de gas	Comerciales	35 (0,35)

### 2.10.1 Dimensionamiento de línea de carga

A continuación, es necesario calcular el diámetro de tubería para la línea de carga hacia el tanque de GLP. Esto debido a que no existe acceso vehicular al área donde se ubicará el tanque. Por este motivo, se debe utilizar la Tabla 14, que ayuda a determinar el dimensionamiento de la línea de propano líquido, basado en una caída de presión de 6.9 kPa (1 psi) [46]. Con 700 GPH del flujo requerido, la distancia entre la toma de carga y el tanque es de 43.9 m obteniendo así el diámetro de 1 ¼” cédula 40 para un acelerado abastecimiento.

**Tabla 134.** Dimensionamiento para líneas de propano líquido [46]

GPH de flujo de propano líquido	Tubería de hierro ( <i>pies</i> )															
	1/4"		3/4"		1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"	
	Cédula		Cédula		Cédula		Cédula		Cédula		Cédula		Cédula		Cédula	
	4	8	4	8	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80
100	7	4	3	2	11	8	47	34								
			3	1	9	1	0	3								
120			2	1		5	32	23								
			3	5	83	6	6	8								
140			1			4	24	17	81	61						
			5	9	61	1	0	5	3	8						
160			1			3	18	13	62	47						
			3	8	47	2	4	4	3	3						
180						2	14	10	49	37						
					37	5	5	6	1	3						
200						2	11		29	30						
					30	0	8	86	9	3						
240						1			27	21						
					21	4	81	59	7	1						
280						1			20	15						
					15	0	60	44	4	5						
300									17	13	78	62				
					13	9	52	38	7	5	5	3				
350									13		57	45				
							38	28	0	99	8	9				
400											43	34	98	79		
							30	22	99	75	3	4	0	4		
500											28	22	62	50		
							19	14	64	49	3	5	7	8		

600	44	33	19	15	43	35		
			7	6	5	2		
700	32	24	14	11	32	25		
			4	4	0	9		
800	25	19	11	87	24	19	96	79
			0		5	8	5	5
900	19	14	87	69	19	15	76	63
					4	7	4	0
1000	16	12	71	56	15	12	61	50
					7	7	8	9

Para la instalación de la línea de carga se utilizará tubería de acero ASTM A53 B, con un espesor cédula 40 sin costura, disponible en el mercado. Es resistente a la presión de servicio, pruebas de mantenimiento y la intemperie. Esta tubería discurrirá junto al muro que colinda a la propiedad privada, llegando al acceso vehicular posterior de la Universidad Politécnica Salesiana.

Adicional se instalará una válvula de alivio en el punto más alto del recorrido de tubería, diseñada para proteger la tubería y las válvulas de cierre, donde se resguarda la posibilidad que exista un exceso de presión, siendo calibrada para abrirse a 1723.7 kPa (250 psi) de código 3127G [41], como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24.** Válvula de alivio 3127G [41]

### 2.10.2 Dimensionamiento de la línea de alimentación

Para el cálculo de la línea de alimentación se considerará la información del manual L-500 Catalog LP-Gas & Anhydrous Ammonia Equipment mostrada en la Tabla 15, utilizando los valores obtenidos calculare se calculará el diámetro de tubería requerida

para el quemador. Con 1.143 (BTU/h) de la potencia requerida y un recorrido de 10,30 m o 34,44 (pies) desde el tanque hasta la ubicación del quemador.

**Tabla 14.** Guía para la selección de tubos y tubería [56]

Tamaño de tubo o tubería de cobre en pulgadas		Longitud de tubo o tubería, en pies				
		10	20	30	40	50
Tubería de cobre	3/8	45	31	25	21	19
	1/2	93	64	51	44	39
	5/8	188	129	204	89	79
	3/4	329	226	182	155	138
	1/2	291	200	160	137	122
Tubería de Hierro	3/4	608	418	336	287	255
	1	1.150	787	632	541	480
	1-1/4	2.350	1.620	1.300	1.110	985
	1-1/2	3.520	2.420	1.940	1.660	1.340
	2	6.790	4.660	3.750	3.210	2.570

Al aplicar la ecuación 8, en donde la densidad relativa es 1.54 kg/m<sup>3</sup> para el GLP en estado vapor y la presión de conexión máxima es 50 kPa (7.25 psi) detallada en la placa del equipo para la presión final del tramo.

$$P_1^2 - P_2^2 = 23200 \times d_r \times L_E \times Q^{1,82} \times D^{-4,82}$$

Es necesario calcular el caudal en función del poder calorífico superior del GLP en estado vapor (24,600 kcal/m<sup>3</sup>) en una mezcla 70-30 [47], mientras que la potencia requerida del quemador detallado en la placa del equipo y el manual de uso es 335 kW.

$$Q = \frac{P}{PCS}$$

$$Q = \frac{335 \text{ kW}}{0,0286 \frac{\text{kWm}^3}{h}}$$

$$Q = 1173,28 \frac{m^3}{h}$$

Está determinado un 5% de caída de presión máxima al final de la tubería en comparación a la presión inicial, utilizado para el cálculo de tuberías de gas [47]. Para ello se tiene una presión de conexión mínima y máxima de 0.15 y 500 kPa, respectivamente, detallados en la placa del quemador. Teniendo como prioridad cubrir la pérdida, se toma el valor máximo.

$$P = 500 \text{ mbar} \times 5\% = 25 \text{ mbar}$$

$$P_1 - P_2 = 25 \text{ mbar}$$

Despejando la ecuación de Renouard, se puede calcular el diámetro con los datos obtenidos a una densidad relativa de 1.54. La longitud equivalente será la longitud total incluida la suma de sus accesorios, 12 m, el caudal obtenido anteriormente fue 11713.28 m<sup>3</sup>/h, y la presión de 25 kPa.

$$D = 4,82 \sqrt[4]{\frac{(23200 \times 1,54 \times L_E \times Q^{1,82})}{(P_1 - P_2)}}$$

$$D = 4,82 \sqrt[4]{\frac{(23200 \times 1,54 \times 15 \times 11713,28^{1,82})}{(25)}}$$

$$D = 272,19 \div 10 \text{ mm} \text{ clndeagua} = 27,2 \text{ mm}$$

Al obtener un diámetro de 27.2 mm, el cual supera el diámetro de 25.4 mm (1”), se toma el valor superior de diámetro, 32 mm (1 ¼”) por seguridad. En la Tabla 16 se muestra las características de la tubería seleccionada.

**Tabla 15.** Tubería de Acero al carbono ASTM A53 [67]

Diámetro nominal		Espesor de pared		Identificación	Peso del tubo		ASTM A53 presión de prueba Grado A				Grado B
<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>Schedule</i>	<i>lb/pie</i>	<i>kg/m</i>	<i>psi</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>psi</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	
1/2	15	0.109	2.77	40	0.85	1.27	700	49	700	49	
		0.147	3.73	80	1.09	1.62	850	60	850	60	
3/4	20	0.113	2.87	40	1.13	1.69	700	49	700	49	
		0.154	3.91	80	1.47	2.20	850	60	850	60	
1	25	0.133	3.38	40	1.68	2.50	700	49	700	49	
		0.179	4.55	80	2.17	3.24	850	60	850	60	
1-	32	0.140	3.56	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91	
1/4		0.191	4.85	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134	
1-	40	0.145	3.68	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91	
1/2		0.200	5.08	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134	

Finalmente, en la Tabla 17, se resume el diámetro obtenido aplicando los métodos de cálculo antes mencionados. Entonces, para la instalación de la línea de alimentación se utilizará tubería de Acero ASTM A53 B, con un espesor cédula 40 sin costura de diámetro 1 ¼”, que se encuentra en el mercado.

Estas tuberías poseen cualidades como resistencia a la presión de servicio, resistencia a la intemperie, además soporta pruebas de mantenimiento. Especificando que la tubería discurrirá por el exterior e interior del Laboratorio de Fundición.

**Tabla 16.** Cotejo de diámetros calculados

Ecuación de Renouard	Manual de instalaciones L500	Unidades
27,2	32	<i>mm</i>
1 1/4	1 1/4	<i>plg</i>

Elaborado por: Andres Rea

Por último, es requerido el cálculo de la velocidad del fluido en el interior de la tubería con los datos obtenidos en las ecuaciones anteriores. El valor es tomado de la Norma



UNE 60670-4 numeral 3.5), donde se menciona que, para los criterios de diseño en tuberías, la velocidad del gas en el interior de una tubería no debe superar los 20 m/s [68].

Teniendo en cuenta que las líneas de alta y media presión proporcionan flujos parcialmente turbulentos y totalmente turbulentos con fluidos como el GLP.

$$V = 354 \times Z \times Q \times P^{-1} \times D^{-2} \quad (11)$$

Donde:

$V$ : Velocidad del gas; (m<sup>3</sup>/h)

$Z$ : Coeficiente de compresibilidad, 1 hasta medias presiones

$Q$ : Caudal en condiciones normales; (m<sup>3</sup>/h)

$P$ : Presión absoluta al final del tramo; (kPa)

$D$ : Diámetro interior del tubo; (m)

$$V = 354 \times 1 \times 11,71138211 \times 0,5^{-1} \times 32^{-2}$$

$$V = 354 \times 1 \times 11,71138211 \times 2 \times 32^{-2}$$

$$V = 8,097 \text{ m/s}$$

## 2.11 Selección de reguladores

La selección de reguladores se realiza de acuerdo con la demanda del quemador, teniendo presente la presión y el caudal que se requiere para su buen funcionamiento [69].

Para ello, se consultó el manual de reguladores REGO, que proporciona información técnica para diferentes equipos de consumo, al tratarse de fabricantes de la línea de regulador más vendida en el mercado. La Figura 25 detalla las características de los reguladores REGO.

## Reguladores Industriales / Comerciales de Alta Presión Libras por Libras de la Serie 1580V y de la Serie AA1580V

Diseñados para reducir las presiones de contenedores de Gas LP y amoníaco anhidro a entre 3 y 125 PSIG. Construcción de precisión, con multimillonaria capacidad de BTU, el de la Serie 1580M es perfecto para trabajos grandes y duros tales como secadores de cosechas, plantas de mezclado de asfalto a granel, vagones de chapopote en construcciones carreteras, tratamiento térmico y otras grandes cargas industriales y comerciales. Es también ideal como regulador de primera etapa en grandes operaciones múltiples. El de la serie AA1580M es ideal para aplicaciones con amoníaco anhidro tales como impresoras de planos y tratamientos térmicos.



Serie 1580M



### Información Para Ordenar Productos

Número de Parte	Servicio	Método de Ajuste	Conexiones de Entrada y Salida	Rango Recomendado de Presión de Servicio (PSIG)	Ancho A	Altura B (máx)	Capacidad Determinada a una Pres. de Conf. de PSIG	Capacidad**	
AA1582MW	NH <sub>3</sub>	Manija en T	¾" NPT F.	3-25	2 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> "	4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> "	20	2,100 CFH NH <sub>3</sub>	
AA1582MK		Cabeza Hexagonal		20-50			30	2,400 CFH NH <sub>3</sub>	
AA1582ML				45-125			60	2,600 CFH NH <sub>3</sub>	
AA1582MH									
1584VN	Gas LP	Manija en T	½" NPT F.	3-30	2 <sup>15</sup> / <sub>16</sub> "	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "	20	7,000,000 BTU/hora LPG	
1584VL				25-50			30	7,500,000 BTU/hora LPG	
1584VH				45-125			60	8,000,000 BTU/hora LPG	
AA1584VW				3-25			20	4,500 CFH NH <sub>3</sub>	
AA1584VL	NH <sub>3</sub>		20-50	30	4,800 CFH NH <sub>3</sub>				
AA1584VH			45-125	60	5,100 CFH NH <sub>3</sub>				
1586VN	Gas LP		Manija en T	¾" NPT F.	3-30	3 ½"	7"	20	11,000,000 BTU/hora LPG
1586VL					25-50			30	12,000,000 BTU/hora LPG
1586VH					45-125			60	14,000,000 BTU/hora LPG
AA1586VW					3-25			20	7,000 CFH NH <sub>3</sub>
AA1586VL	NH <sub>3</sub>			20-50	30	7,700 CFH NH <sub>3</sub>			
AA1586VH				45-125	60	8,900 CFH NH <sub>3</sub>			
1588VN	Gas LP			Manija en T	1" NPT F.	3-30	3 ½"	7"	20
1588VL		25-50				30			12,000,000 BTU/hora LPG
1588VH		45-125				60			14,000,000 BTU/hora LPG

Figura 25. Catálogo de reguladores de alta presión [70]

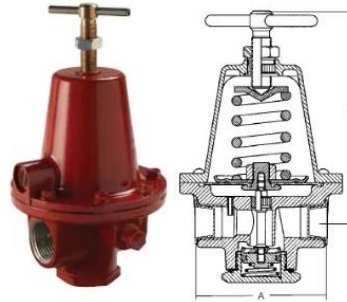
Este regulador, deberá suministrar el caudal necesario y la presión requerida sin importar la variación que tenga el tanque gas, debido a su porcentaje de volumen, evitando así un mal funcionamiento. Para el Laboratorio de Fundición se propone un sistema de regulación de dos etapas mismas que están formadas de la siguiente manera.

### 2.11.1 Regulador de primera etapa

En la actualidad el quemador ha estado funcionando con un sistema de regulación de etapa única que a continuación se detalla en la Tabla 18, sus características principales y su estructura en la Figura 26.

**Tabla 17.** Características del regulador Rego [57]

Número de parte	Servicio	Método de ajuste	Conexión de entrada y salida	Rango recomendado de presión PSIG	Capacidad Btu/h
1584VN	GLP	Manija en T	½" NPT F	3 – 30	7.000.000

**Figura 26.** Regulador 1584VN [56]

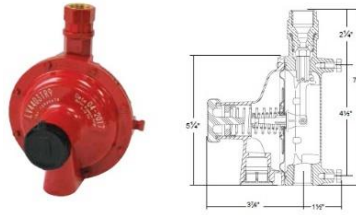
El regulador 1584VN de marca Rego REGO tiene la capacidad de cubrir la demanda del consumo actual 1143735.06 (Btu/h), siendo apto para una futura instalación en el sistema de regulación de primera etapa.

### 2.11.2 Regulador de segunda etapa

Para la regulación de segunda etapa se utilizó un regulador que proporcione una presión entre 10 a 5 *Psi* y una capacidad de 2.500.00 (*BTU/h*) de entrega, cubriendo la demanda en la Tabla 19 y Figura 27 se muestra sus características y estructura del regulador seleccionado.

**Tabla 18.** Características del regulador de segunda etapa [57]

Número de parte	Conexión de entrada	Conexión de salida	Rango recomendado de presión PSIG	Capacidad BTU/h
LV4403TR4	¼" F.NPT	½" NPT F	5 – 10	2.500.000



**Figura 27.** Regulador LV4403TR4 [56]

El regulador LV4403T de marca REGO cubre la demanda del consumo actual 1143735.06 (BTU/h), siendo apto para su posible instalación en el sistema de regulación de segunda etapa, este regulador se instalará en la parte externa del laboratorio ya que cuenta con venteo y una válvula de alivio incorporada, para que este regulador funcione a una presión mayor a 7 *Psi* se calibrará el regulador para un buen funcionamiento.

## **2.12 Tipo de soldadura para tubería de GLP**

Para el sistema de gas se ha diseñado una línea de carga y una línea de alimentación. Estas dos líneas van a ser construidas con tubería de hierro negro cédula 40 sin costura de diámetro 1 1/4", donde se utilizará accesorios como codos, reducciones, uniones bridadas, pernos de grado 8, empaquetadura resistente al GLP y electrodos E-6011, E6013 para el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) [71], como lo especifican las Normas ASTM A 53 y la INE INEN 2260:2010.

En la Figura 28 se muestran los trabajos de campo, proceso de soldadura y montaje que debe ser ejecutado por un técnico calificado según Código ASME Sección IX, ANSI/AWS A 5.8 o NTE INEN 128 [1].



**Figura 28.** Trabajo de soldadura en tubería. Elaborado por: Andres Rea

### 2.13 Elementos y accesorios del sistema

El sistema de GLP constará de varios accesorios para su buen funcionamiento de acuerdo con las normas que rigen en el Ecuador, obteniendo seguridad, control y comodidad para su operación. De la instalación con la que cuente dependerá el uso adecuado de los accesorios de hierro negro (HN) roscado. A continuación, se realiza la elección de accesorios que interviene en la instalación tales como: válvulas de corte, mangueras de alta y baja presión.

### 2.14 Ubicación de válvulas de corte o accionamiento

Para la línea de carga se va a instalar dos válvulas de 1" NPT, acero inoxidable 2 cuerpo de 1000 WOG con bloqueo manual en el mango, la primera se instalará en el punto de carga como se muestra la Figura 29 y la segunda previa al tanque de GLP. Cabe recalcar que las válvulas WOG se caracterizan por manejar fluidos a altas presiones, tales como aceite, agua y gases



**Figura 29.** Punto de carga ubicada al exterior. Elaborado por: Andres Rea

Para la línea de alimentación se instalará 2 válvulas de bola con mago de 1 ¼" NPT, acero inoxidable de 600 WOG o ISO de mago amarillo [60], ubicadas en la salida del tanque de GLP en la planta baja de acceso libre para corte de emergencia y previo al punto de consumo "Quemador B1/1-E".

### 2.15 Mangueras de alta presión y baja presión

Se instalará mangueras de alta presión, una de diámetro de 1" y dos mangueras de ½" prensadas en sus dos extremos y con terminales machos para su conexión, entre la tubería de carga y el tanque de GLP como se muestra en la Figura 30. Entre el tanque y la línea de alimentación, así como entre la tubería y el equipo de consumo, el quemador, son capaces de soportar la intemperie y altas presiones de trabajo ya sea en estado líquido o gaseoso. Además, las mangueras son prensadas en ambos extremos

con acoples machos que son fijos para su conexión y poseen tejido para resistir altas presiones que van de los 345 a 3200 bar [72].



**Figura 30.** Manguera de alta presión previo a su conexión. Elaborado por: Andres Rea

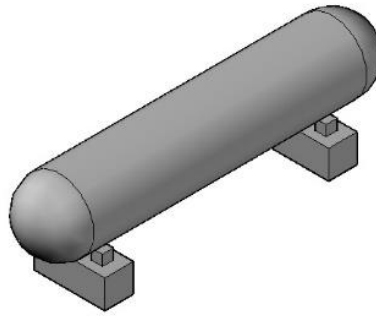
## 2.16 Soportes o bases de hormigón

Según la Norma NTE INEN 2260:2010 numeral 7.12 Literal b) los tanques horizontales diseñados para instalación permanente en servicio estacionario sobre nivel del terreno deberán ubicarse sobre bases de hormigón resistente al fuego (RF 120) [65]. Las bases serán diseñadas para soportar el peso del tanque lleno de agua, de manera que la carga se encuentre distribuida equitativamente en la Tabla 20, se muestra los datos a considerar previo a la construcción de las bases de hormigón quedando de acuerdo con la Figura 31.

**Tabla 19.** Datos técnicos para bases de hormigón

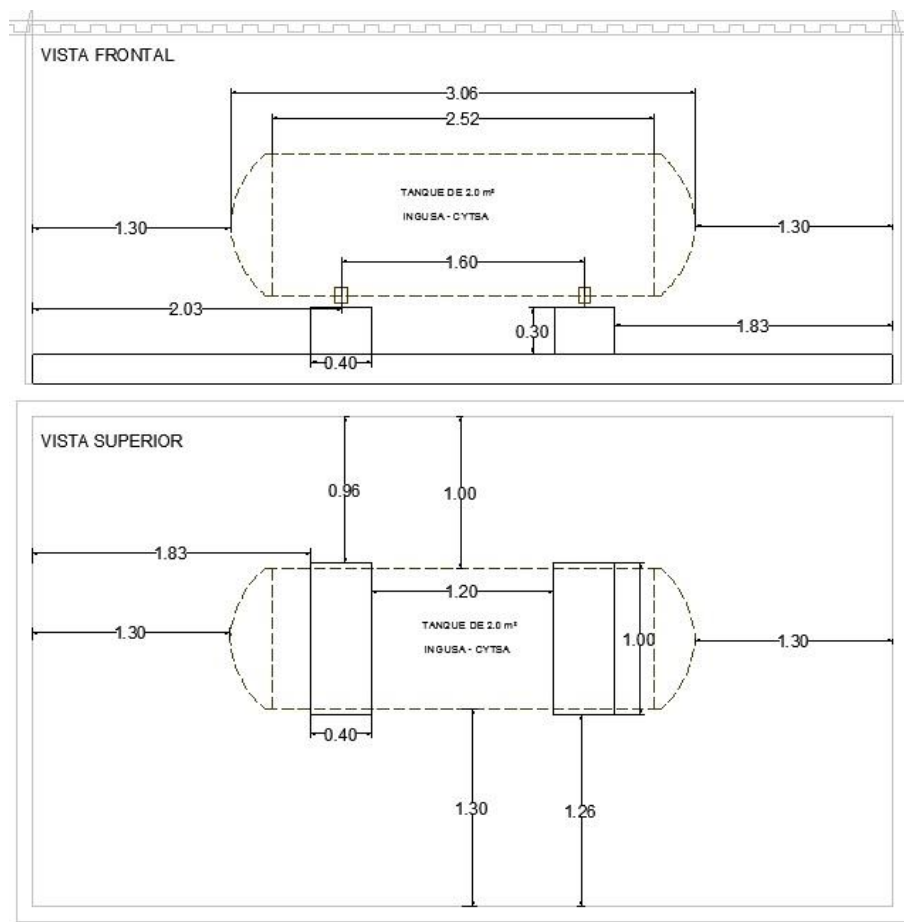
Tanque de GLP horizontal	
Capacidad del tanque	2 m <sup>3</sup>
Peso del tanque	1000 kg
Peso lleno de agua	2000 lb
Peso tanque vacío	450 kg
Carga distribuida en losa	1250 kg
Diámetro del tanque	914.4 mm o 36"
Longitud del tanque	3061 mm o 120.5"

Elaborado por: Andres Rea



**Figura 31.** Bases de hormigón para tanque de GLP. Elaborado por: Andres Rea

El tanque de GLP estará anclado a las bases de hormigón por medio de 4 pernos de anclaje o pernos de expansión de  $\frac{1}{2} \times 4$  plg, ubicados en las patas del tanque o TE-STD. Por lo general, la ubicación del tanque lo realizará el camión que lo transporta ya que cuenta con un brazo hidráulico colocándolo sobre las bases. En la Figura 32 se muestra las dimensiones para la construcción de las bases de hormigón y paredes o cerramiento del tanque.



**Figura 32.** Dimensiones para las bases de hormigón. Elaborado por: Andres Rea

### 2.17 Simulación del sistema centralizado de GLP

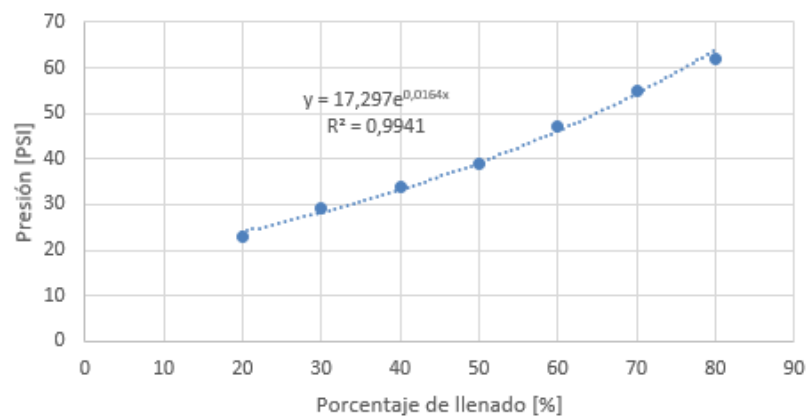
De acuerdo con el diseño antes realizado y mostrando todos los parámetros para su funcionamiento, se procedió a realizar una simulación en la línea de alimentación utilizando un software de diseño asistido por computadora CAD 3D SOLIDWORKS 2018.

Para lo cual es necesario los datos de presión en el interior del tanque de GLP, misma que se obtiene de diferentes estaciones ejecutadas en el ambiente laboral y que en la actualidad, proyectos similares a este, se encuentran en funcionamiento. Brindan cantidades que se muestra en la Tabla 21 y se puede observar la curva de aumento en Figura 33.

**Tabla 20.** Presión vs % de llenado

% Llenado	Psi	Bar
20	23	1.58
30	29	1.99
40	34	2.34
50	39	2.68
60	47	3.24
70	55	7.79
80	62	4.27

Elaborado por: Andres Rea

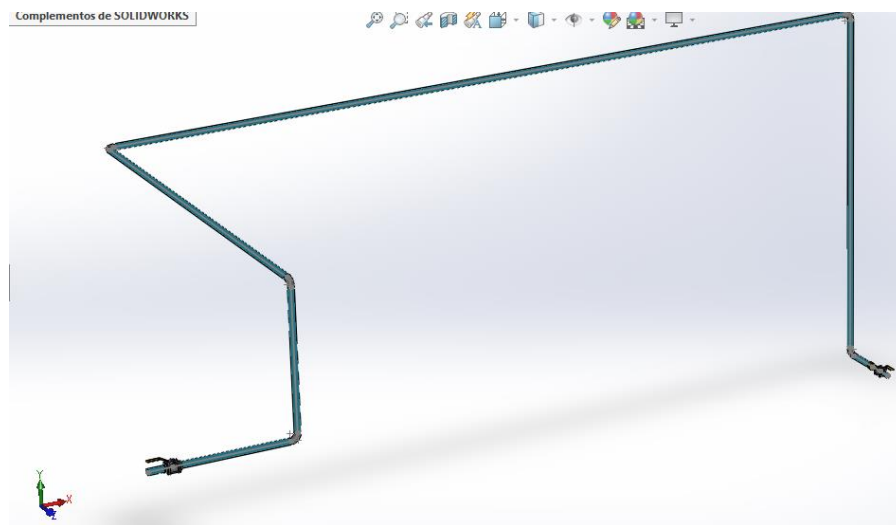


**Figura 33.** Presión vs % de llenado. Elaborado por: Andres Rea



La simulación evalúa el diseño y garantiza los estándares de seguridad para su buen funcionamiento. Así como también muestra errores que no se tomaron en cuenta y valores fuera de los rangos de seguridad o dimensionamiento.

En la Figura 34, se muestra la línea de alimentación, que es el tramo que entrega el GLP en estado gaseoso al horno crisol para el proceso de fundición. En esta simulación se va a determinar qué sucede con la presión, la velocidad del fluido, las pérdidas y su punto de fallo en el material como tubería y accesorio.







**Figura 34.** Línea de alimentación. Elaborado por: Andres Rea

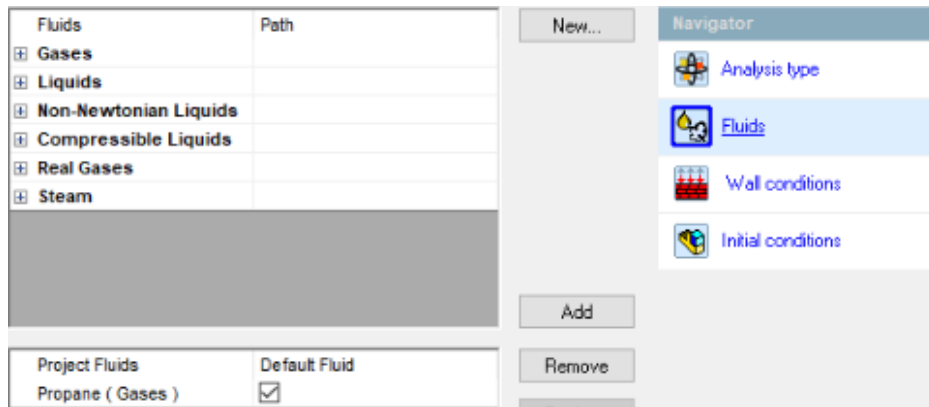
Una vez realizada la gráfica de toda la trayectoria de la tubería, se procede a ingresar los valores de presión al inicio. El fluido con el que se va a simular es el propano mostrado en la Figura 35 y 36.

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	413685 Pa
Temperature	298.15 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Velocity in X direction	0 m/s
Velocity in Y direction	0 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

**Navigator**

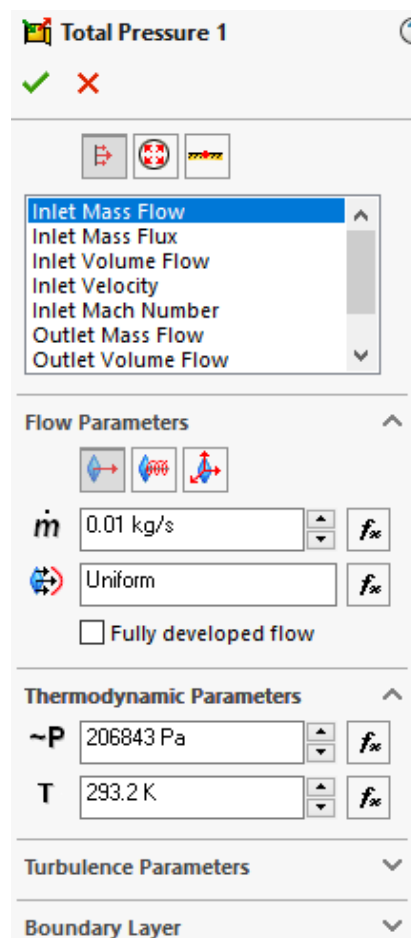
-  [Analysis type](#)
-  [Fluids](#)
-  [Wall conditions](#)
-  [Initial conditions](#)

**Figura 35.** Parámetros de presión. Elaborado por: Andres Rea

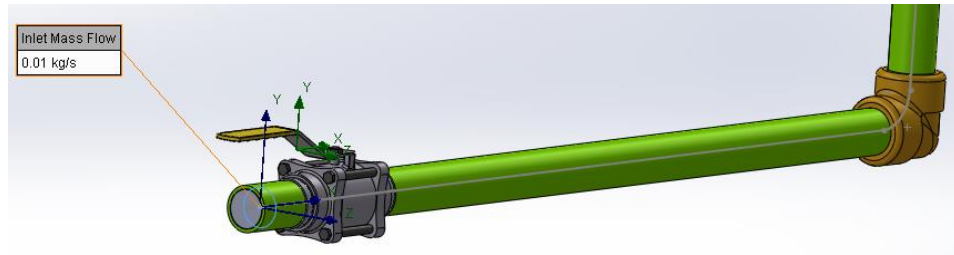


**Figura 36.** Designación de fluido. Elaborado por: Andres Rea

A continuación, en las Figura 37, 38 y 39, se procede a mostrar los parámetros de entrada de la simulación, en las cuales se puede observar el comportamiento del fluido a través de las tuberías desde el punto inicial hasta el punto de entrega.

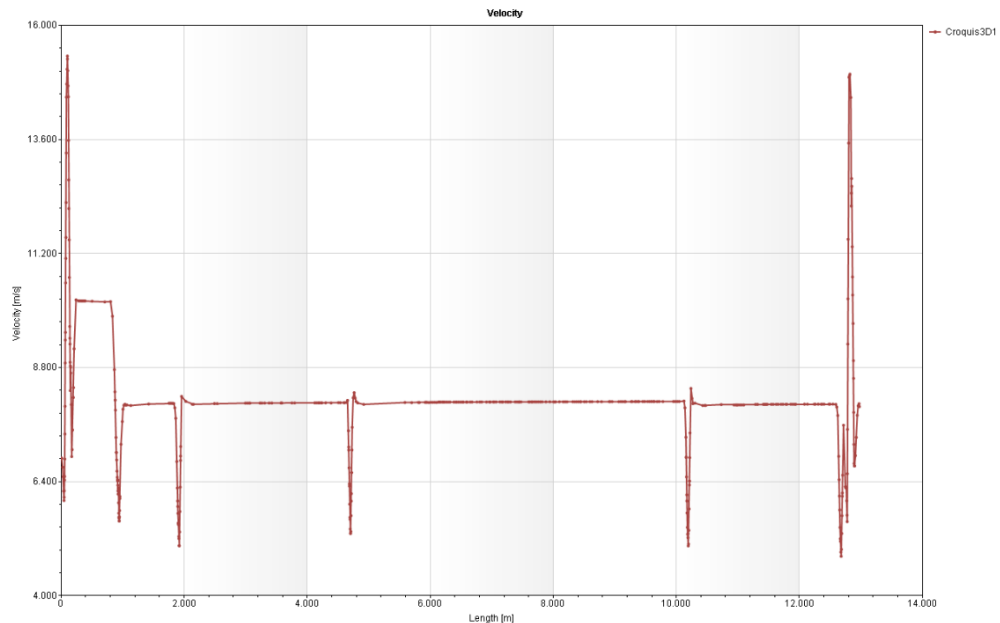


**Figura 37.** Parámetros de simulación. Elaborado por: Andres Rea



**Figura 38.** Inicio de tubería ingreso de fluido. Elaborado por: Andres Rea

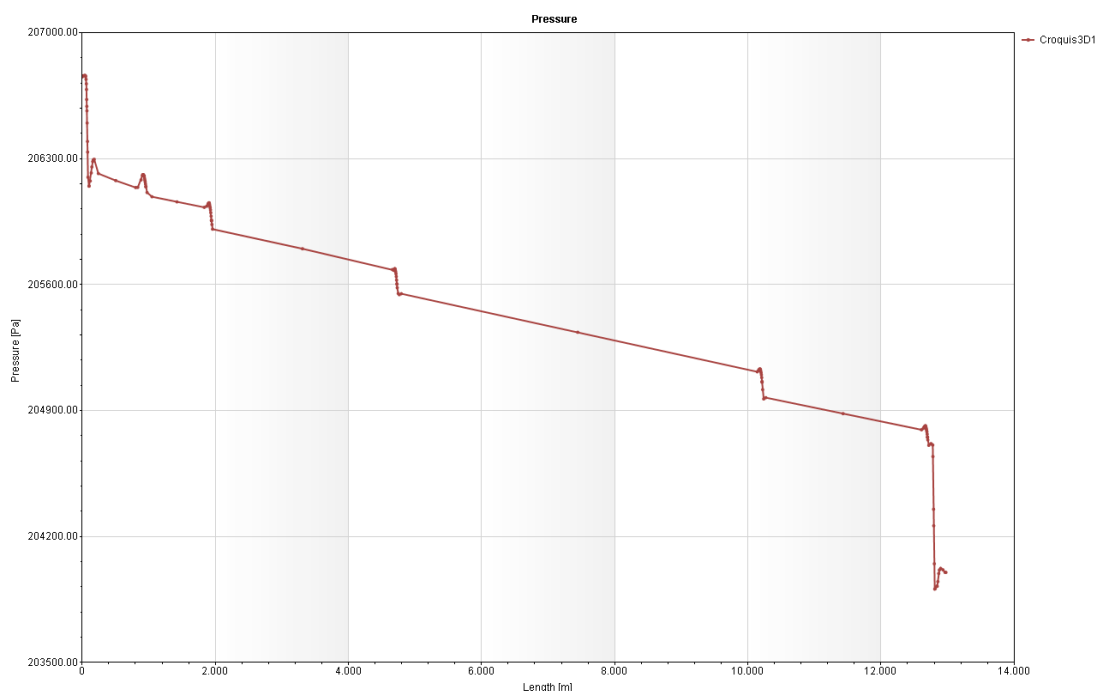
La Figura 39 muestra la velocidad del fluido en el interior de la tubería respecto a la longitud. Se obtienen como resultado velocidades del fluido en el interior de la tubería que oscilan entre los 10 y 8 m/s presentando un aumento de velocidad.



**Figura 39.** Velocidad del fluido. Elaborado por: Andres Rea

A los 11 metros de longitud se colocará el regulador de segunda etapa. Entonces, tiene una velocidad de 7.75 m/s estando próximo a la conexión del quemador.

Respecto a las pérdidas de presión, se puede observar en la Figura 40, que no supera el 0.3% lo cual no representa una gran pérdida. Los cálculos antes realizados, por efecto de normativa, toman un 0.5%, confirmando que las pérdidas de presión son menores a las que se consideró, obteniendo mucha similitud en el valor de las pérdidas en las tuberías.



**Figura 40.** Pérdidas de presión en tubería. Elaborado por: Andres Rea

Finalmente, en la Tabla 22, se muestra los valores que arrojó la simulación, valores que serán cotejados con los valores de diseño y cantidades que se encuentren bajo estándares de seguridad, confirmando que no existe anomalías o fallos en el sistema.

**Tabla 21.** Datos de simulación vs diseño

Descripción	SOLIDWORKS	DISEÑO
Presión inicial	30 psi	30 psi
Presión final	29,7 psi	29,5 psi
Pérdidas de presión	0,3 psi	0,5 psi
Fluido utilizado	Propano	Propano Butano
Velocidad del fluido	Min 7,75 máx. 15,43 m/s	Min 8,09 máx. 19 m/s

Elaborado por: Andres Rea

## 2.18 Medidas complementarias

Son factores de seguridad que requiere una instalación centralizada de GLP, ya que el único propósito es salvaguardar la integridad de los estudiantes, docente, visitantes, personal administrativo o de mantenimiento, así como de los bienes inmuebles de la institución, disminuyendo a cero los accidentes o siniestros posibles. Estas medidas

serán puestas a tierra para el tanque estacionario y otra para el auto tanque, pararrayos, señalización, extintores, duchas de refrigeración y ventilación de equipos a gas.

### **2.18.1 Puesta a tierra para el tanque estacionario y Auto-tanque**

Según la NTE INEN 2260:2010 numeral 7.12.1), todo tanque de gas combustible, ubicado sobre el nivel del piso, debe estar conectado a tierra por medio de un conductor cuya resistencia total sea inferior a 20 ohmios [1, 65].

La descarga a tierra tiene la función de evitar los chispazos de corriente que se dan al contacto con un objeto o persona. Este chispazo de energía puede ser el causante de un siniestro cuando exista una fuga de gas. Teniendo en cuenta que la materia está compuesta por átomos, resulta que las cargas de distinto signo se atraen y las cargas de igual signo se repelen, creando el chispazo eléctrico o la electroestática.

Se realizará dos descargas a tierra, la primera para el tanque estacionario, mediante cable desnudo de cobre conectado a una varilla cooperweld. La segunda para el auto-tanque, mediante cable desnudo de cobre que se encuentra enrollado en una caja, conjuntamente con una pinza lagarto y se conecta a una varilla cooperweld independiente, enterrada a nivel cero del nivel de terreno como se observa en la Figura 41.



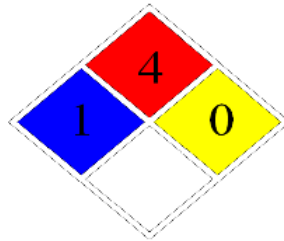
**Figura 41.** Descarga a tierra. Elaborado por: Andres Rea

### **2.18.2 Pararrayos**

Las normas técnicas aceptan la instalación de tanques en azoteas o terrazas y en zonas donde es frecuente la presencia de lluvias con truenos, aunque se exige la instalación de pararrayos, cuyo radio de cobertura incluya el espacio de almacenamiento del combustible [35].

### 2.18.3 Señalización

Se ubicará los letreros de seguridad respectivos en el área del tanque, con las leyendas: “Peligro Gas Inflamable”, “Prohibido Fumar”, “Solo Personal Autorizado”, y rombos con clasificación de riesgos “1 4 0” mostrado en la Figura 42, para el tanque de GLP de acuerdo a las normas NFPA.704 y la NTE INEN 440.



**Figura 42.** Rombo de clasificación de riesgos. Elaborado por: Andres Rea

### 2.18.4 Extintores

Dos extintores de polvo químico seco (PQS) con capacidad de 4.5 kg (10 lb) serán instalados, uno en el interior del Laboratorio de Fundición y el otro en la parte externa, junto al área del tanque siendo de uso exclusivo para personal autorizado.

### 2.18.5 Duchas de refrigeración

Se instalará un sistema de enfriamiento mediante agua pulverizada, con 3 splinkers. Éstos se localizarán sobre el tanque de almacenamiento utilizando tubería de hierro galvanizado de diámetro 1/2” y 1 válvula de 1/2” de cierre manual o accionamiento para la salida del fluido. Todo este sistema será pintado de color rojo ya que es parte del sistema de prevención de incendios como se observa en la Figura 43.



**Figura 43.** Sistema de enfriamiento con agua pulverizada. Elaborado por: Andres Rea

#### **2.18.6 Ventilación de equipos a gas**

El Laboratorio de Fundición cuenta con un quemador B1/1-E, teniendo ventilación superior e inferior de mayor a 200 (cm<sup>2</sup>), para la salida de gases de combustión según especificación de NTE INEN 2260 año 2010.

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se presenta el análisis económico para una posible instalación de la estación centralizada de GLP, para ello se va a dividir los valores de inversión que se requiera en dos partes, la primera será materiales y la segunda la mano de obra.

#### 3.1 Análisis económico de materiales

Con la aplicación de una hoja de cálculo “Excel” se contabilizará todos los equipos, accesorios e insumos que se van a requerir para su posible instalación del sistema, para ello se toma tres puntos principales: línea de carga, tanque de GLP y línea de alimentación como se muestra en la Tabla 23, 24, 25 y 26 misma que detalla los materiales para el sistema de enfriamiento.

**Tabla 22.** Materiales para línea de carga

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Gabinete metálico 20X20X30 cm	1	35,35	35,35
Válvula doble check carga 1 3/4 X 3/4 - 7647SA X 45	1	30,00	30,00
Reducción bushing Hn 1 X 3/4	1	3,42	3,42
Codo 1" x 90 HN Clase 300	1	2,20	2,20
Niple hexagonal 1" x 7 cm HN	1	3,00	3,00
Válvula de esfera 1" A inox-rosc 2C	1	25,00	25,00
Neplo corrido 1" X 20 cm HN S/R	1	4,46	4,64
Reducción Hn 1 1/4" X 1" sol	1	1,15	1,15
Tubería Hierro Negro de 1 1/4 " (m)	48	5,00	240,00
Codo 1 1/4" X 90 Hn ced:40 s/c sol	10	2,50	25,00
Codo 1 1/4" X 45 Hn ced:40 s/c sol	3	2,00	6,00
Reducción Hn 1 1/4" X 1" sol	1	1,15	1,15



Neplo corrido 1" X 20 cm HN S/R	1	3,10	3,10
Válvula de esfera 1" A inox-rosc 2C	1	25,00	25,00
Manguera Flexible negra con adaptadores fijos 1"	1	10,00	10,00
Unión 1 " clase 300 HN rosc.	1	4,00	4,00
Adaptador para válvula de carga 1 " NPT A3175	1	38,00	38,00
Empaque brida de asbesto	7	1,00	7,00
Brida slip-on deslizable clase 150 1"	14	4,99	69,86
Pernos 9/16" x 2 1/2", arandela plana presión y tuerca grado 8	56	2,00	120,00
Soportes	16	2,50	40,00
Soldadura	46	9,00	414,00
Teflón grande amarillo	3	1,50	4,50
Unifix fuerza media	1	4,80	4,80
Pintura	1	20,00	20,00
<b>Subtotal</b>			<b>1024.41</b>

Elaborado por: Andres Rea

El tanque de GLP será de fabricación extranjera, el mismo que cuenta con estampe ASME importado de Guadalajara, Jalisco, México, de marca GCYTSA ya que son tanques diseñados para soportar presiones de 2240.8 kPa (325 psi). Adicionalmente, se instalará los letreros de prohibición, restricción y comunicación.

**Tabla 23.** Materiales que intervienes en el tanque de GLP

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tanque de GLP 2m <sup>3</sup>	1	1.500,00	1500,00
Conexión a tierra	2	45,00	90,00
Adhesivos	6	2,00	12,00
Pintura	1	20,00	20,00
Transporte	1	150,00	150,00

Anclaje	4	0,75	2,00
		<b>Subtotal</b>	<b>1774,00</b>
Elaborado por: Andres Rea			

La línea de alimentación estará pintada de color amarillo ocre, ya que trasportará GLP en estado gaseoso, a diferencia de la línea de carga que transporta GLP en estado líquido, correspondiéndole el color blanco para líquidos inflamables detallado en la norma ecuatoriana INEN 440 colores de identificación para tuberías [73].

**Tabla 24.** Materiales para línea de alimentación

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Manguera pigtail	2	40,00	40,00
Bushin Br 1/2" X 1/4" a-b	1	2,50	5,00
Regulador de Primera etapa	2	32,14	32,14
Neplo hexagonal 1/4 X 1/2 a-b	2	2,50	5,00
Reducción campana 1/2" x 3/4" Hn a-b	2	2,00	4,00
Neplo hexagonal 3/4" X 40 mm a-b	2	3,00	6,00
Bushin Hn 3/4" X 1" a-b	2	3,42	6,84
Válvula de 1" 2 cuerpos 6000 WOG a-b	2	20,00	40,00
Neplo corrido 1" X 20 cm HN S/R a-b	1	5,00	5,00
Reducción Hn 1" X 1 1/4" sol a-b	2	1,15	2,30
Tubería Hn 1 1/4" s/c ced: 40	12	30,00	360,00
Codos Hn sol 90 X 1 1/4"	7	2,50	17,50
Bridas HN sol 1 1/4"	2	5,50	11,00
Pernos 9/16" x 2 1/2"	2	2,00	4,00
Regulador de Segunda etapa	1	23,00	23,00
Manguera alta presión	1	20,00	20,00
Pintura	0,5	20,00	10,00

Soportes	4	2,50	10,00
Teflón	6	0,40	2,27
Unifix fuerza media	1	4,80	4,80
Barrilla suelda E-6010	21	9,00	189,00
<b>Subtotal</b>			<b>797,85</b>

Elaborado por: Andres Rea

El sistema de enfriamiento se deriva de una línea de agua potable apoyando al sistema contra incendio, mismos que serán pintados de color rojo, el material de la tuberías y accesorios del cual estará formado será incombustible, de acuerdo al registro oficial 114 y el reglamento contra incendios, este sistema previene que el tanque de GLP alcance temperaturas altas ocasionadas por un incendio a su alrededor.

**Tabla 25. Materiales para el sistema de enfriamiento**

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Reducción de 3/4x1/2" HG	1	0,40	0,40
Universal 1/2" galvanizado	1	1,75	1,75
Válvulas de 1/2" media vuelta	1	7,00	7,00
Tubería galvanizada 1/2" (m)	12	12,00	144,00
Codos 1/2" galvanizado	7	0,45	3,15
Tee 1/2" galvanizado	2	1,75	3,50
Splinkers	3	6,75	20,25
Pintura	1	20,00	20,00
Soportes	5	1,50	7,50
Teflon	4	0,50	2,00
Unifix fuerza media	0,3	4,80	1,44
<b>Subtotal</b>			<b>210,09</b>

Elaborado por: Andres Rea

### 3.2 Análisis económico de la mano de obra

Para la ejecución del proyecto, se tomará en cuenta la mano de obra de dos técnicos en la instalación, un soldador calificado para el proceso del soldadura y para el montaje, un ingeniero mecánico responsable de la instalación centralizada de GLP,

estando a cargo del diseño, permisos de trabajo, manipulación, calibración, pruebas de funcionamiento de todos los equipos accesorios y materiales que forman parte de la instalación, estando (se repite) obligado a trabajar bajo parámetros de seguridad industrial y el buen uso del equipo de protección personal (EPP) en cualquier actividad que realicen los obreros.

En la Tabla 27, se detalla los valores a cancelar por los servicios prestados extraídos de la tabla de salarios mínimos sectoriales año 2019, del ministerio de trabajo Ministerio de Trabajo de la rama de Actividad Económica: producción de petróleo crudo y gas natural y sus derivados y su procesamiento producción de petróleo crudo, gas natural, sus derivados y su procesamiento [74].

**Tabla 26.** Tabla de sueldos de acuerdo con el Ministerio de Trabajo [74]

Cantidad	Descripción	Sueldo (USD)	Sueldo por día	Días de trabajo	Total
2	Técnico	400,00	13,33	8	106,67
1	Soldador Calificado	500,00	16,67	5	83,33
1	Ingeniero Mecánico	650,00	21,67	30	650,00
<b>Subtotal</b>					<b>840,00</b>

A continuación, se muestra el resumen de valores en la Tabla 28, donde se suma todos los costos obtenidos sobre los materiales y la mano de obra, que fueron calculados con precios actuales de diferentes proveedores.

**Tabla 27.** Total de inversión requerida.

Cantidad	Descripción	Total unitario	Total inversión
1	Línea de carga	1024,41	
1	Tanque de GLP	1774,00	
1	Línea de alimentación	757,85	5000,00
1	Sistema de enfriamiento	210,99	
1	Mano de obra	840,00	

1	Transporte	200,00
1	Imprevistos	192,75

Elaborado por: Andres Rea

Teniendo presente que el GLP es altamente inflamable y requiere de un manejo cuidadoso, se recomienda que la ejecución de la instalación la realice una empresa calificada o un profesional con experiencia, para ello la NTE INEN 2260:2010 numeral 3.1.55, define a un instalador de gas como la persona natural o jurídica legalmente establecida, que incluye en su objeto social las actividades de diseño, montaje, reparación, mantenimiento y revisión de instalaciones de gas, que cumpla con los requisitos mínimos establecidos y esté acreditada mediante el correspondiente certificado, emitido por la autoridad competente [65]; se encuentre inscrita en el registro correspondiente o en su defecto de acuerdo con las reglas de una buena actuación profesional [1].

### 3.3 Costos por mantenimiento

Con el objetivo que el sistema se encuentre en perfectas condiciones para su buen funcionamiento, se realizará el mantenimiento preventivo y correctivo para las tuberías anualmente. Para el tanque de GLP, cada 5 años, trabajos realizados por el departamento de mantenimiento o a su vez por una empresa calificada. La Tabla 29 detalla los valores por el mantenimiento de la instalación.

**Tabla 28.** Costos de mantenimiento

Descripción	Período	Costo
Tubería de llenado	1 vez cada año	50,00
Tubería de alimentación	1 vez cada año	50,00
Tanque de GLP	1 vez cada 5 años	1.000,00

Elaborado por: Andres Rea

Estos valores provienen de las empresas que realizan instalaciones y mantenimiento de sistemas de GLP como, Master Control, Eni-Ecuador, Congas y profesionales relacionados a esta actividad.

### 3.4 Evaluación económica del proyecto

A continuación, se analiza los valores que implica la instalación del proyecto en estudio y sus costos de operación a futuro, teniendo presente que dicho sistema estará activo los 365 días del año. Para esto, se aplica los métodos TIR y VAN para calcular el beneficio y el tiempo de recuperación de la posible inversión.

#### 3.4.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN es la comparación del dinero en el momento inicial de inversión ( $I_o$ ) con los flujos de caja (FNE) que se generan en cada período. Esta es la diferencia entre los cobros en el período y los pagos realizados en el mismo período siendo comparados en un interés fijado ( $i$ ) [75], teniendo como prioridad que:

Si el VAN es  $> 0$  es viable la inversión, se acepta la inversión ya que genera ganancia.

Si el VAN es  $= 0$  este no genera pérdida ni beneficio, es indiferente al inicio.

Si el VAN es  $< 0$  no es viable la inversión, se rechaza la inversión ya que genera pérdida.

Entonces, es necesario verificar si es viable la inversión de dinero en el proyecto obteniendo un VAN, ya sea positivo o negativo de acuerdo a la siguiente ecuación [76]:

$$VAN = -I_o + \sum_{j=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^j} \quad (12)$$

Donde

$FNE$ : flujo neto efectivo

$VAN$ : valor actual neto

$I_o$ : inversión inicial

$i$ : tasa de descuento

$n$ : período

Para evaluar la situación sobre la viabilidad del proyecto, se considera 5 períodos anuales a una tasa de descuento del 3 % (valor de la inflación actual), con el costo del

gas a un año siendo 2350 dólares, el valor total de la inversión el cual es 5000 dólares y el flujo neto efectivo mostrado en la Tabla 30.

**Tabla 29.** Flujo neto efectivo

Detalle	Período en años					
	0	1	2	3	4	5
Ingreso	3150,00	3150,00	3150,00	3150,00	3150,00	3150,00
Egreso	5000,00	2350,00	2350,00	2350,00	2350,00	3350,00
Flujo de caja	-1850,00	800,00	800,00	800,00	800,00	-200,00

Elaborado por: Andres Rea

La Tabla 31, presenta los valores obtenidos al realizar un análisis dentro de una hoja de cálculo de Excel.

**Tabla 30.** Cálculo del VAN

Nro	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$
0	-1850,00		-1850,00
1	800,00	1,03	776,70
2	800,00	1,06	754,08
3	800,00	1,09	732,11
4	800,00	1,13	710,79
5	-200,00	1,16	-172,52
<b>VAN</b>			<b>951,16</b>

Elaborado por: Andres Rea

Como el VAN es mayor a cero, siendo positivo, quiere decir que los beneficios generados del proyecto son superiores a los costos incurridos por el mismo, confirmando que después de pagar las obligaciones del proyecto queda un saldo favorable para el inversionista UPS.

### 3.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Este método, se basa en igualar los valores actuales de los gastos al precio actual de los flujos netos de caja, en la cual se determina el tipo de interés al que se produce tal

igualdad [75]. Es la actualización de los flujos defectivos a la actividad, es decir, da a conocer cuánto vale el dinero a un tiempo específico invertido en la actualidad, verificando qué valor de tasa se percibirá como beneficio [76].

$$TIR = \sum_{T=1}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (13)$$

Donde

$F_n$ : flujo de caja en el período  $n$

$n$ : número de períodos

$i$ : es el valor de la inversión inicial

En el TIR se observa el valor del VAN con sus porcentajes a la tasa aplicada anteriormente y la tasa de interés a percibir mostrando los resultados de la siguiente manera en la Tabla 32.

**Tabla 31.** Cálculo del TIR

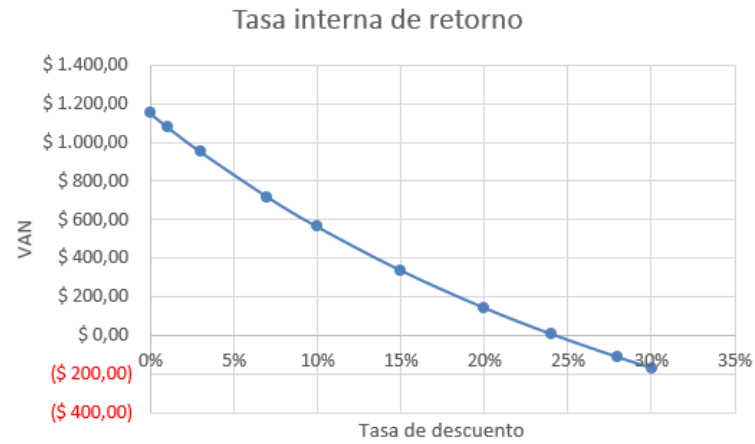
Tasa de Descuento	VAN
0 %	1150,00
1 %	1081,28
3 %	951,16
7 %	717,17
10 %	561,71
15 %	334,55
20 %	140,61
24 %	5,20
28 %	115,43
30 %	170,87
TIR	24 %

Elaborado por: Andres Rea

Como la tasa interna de retorno es 24 %, mayor que la tasa de descuento inicial (3%), significa que el interés equivalente sobre capital generado por el proyecto es superior



al interés mínimo aceptable del capital bancario como se muestra en la Figura 44. En este caso, el proyecto es aceptable por lo que se recomienda su inmediata ejecución.



**Figura 44.** Tasa interna de retorno. Elaborado por: Andres Rea

## CONCLUSIONES

El diseño de la estación de GLP fue desarrollado bajo la Regla Técnica Metropolitana y el Registro Oficial 114, en las Instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana. Actualmente el horno consta de un quemador G1/1-E que proporciona 375 kW generados por la combustión de GLP suministrados por 4 tanques de 45 kg. El sistema centralizado de GLP existente genera una presión de 5 psi requeridos para el accionamiento eléctrico y posterior encendido del horno.

Las principales alternativas encontradas al momento de realizar la investigación fueron tanques enterrados, tanques semi enterrados, tanques aéreos, tanques sobre el nivel del terreno. Esta última alternativa es la más viable debido a su accesibilidad, mantenimiento y parámetros de seguridad. Además de ser económicamente factible.

La demanda de 335 kW para el quemador G1/1- E del horno crisol utilizado en el proceso de fundición exige la implementación de un sistema centralizado de GLP, misma que contar con un tanque de almacenamiento ubicado a nivel N+0,10 junto al laboratorio, con la tubería y accesorios que soporten 350 *psi* a distintas temperaturas como altas a 27 o bajas a 7 °C.

El diseño de GLP contempla estándares de seguridad basados en la NTE INEN 2260 año 2010 y carece de complejidad para su funcionamiento, estableciendo un tanque de 2  $m^3$  que cubre la demanda existente.

La simulación confirma el buen funcionamiento del sistema, aplicando los materiales como tubería y accesorios de acero negro cédula 40 de diámetro 1 ¼" para soldar, obteniendo pérdidas de 0,3 % de la presión inicial y una velocidad de 8 a 15 *m/s* que se encuentra dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE 60670-4 aplicada a la trasportación de fluidos peligrosos utilizados en alta presión.

Se considera factible la ejecución del proyecto, tanto en la parte técnica ya que cumple con todos los requisitos del Registro Oficial 114 y la Ordenanza Metropolitana 0470, así como también la parte económica ya que obtuvo un valor actual neto de 951,16 y una tasa interna de retorno 24 % que proporciona ganancia al inversionista.

La información detallada en los planos, fichas técnicas, manuales y procedimiento que contiene este proyecto son de suma importancia para la ubicación de equipos, selección de materiales, buen mantenimiento y actos dudosos que se pretenda realizar por personas que carezcan de conocimiento sobre este sistema.

## RECOMENDACIONES

Una vez instalada la línea de carga se realizará pruebas de fugas con CO<sub>2</sub> a 200 *psi* por el transcurso de 24 horas, en todas las juntas y uniones soldadas se realizó una revisión de fugas con agua jabonosa.

Se recomienda implementar una cubierta y un cerramiento para evitar el deterioro de los materiales, equipos y accesorios debido a las variaciones climáticas y manipulación o robos de los antes mencionados.

Se recomienda que la puerta de acceso al área del taque de almacenamiento sea metálica y que se conecte a la descarga a tierra para que automáticamente la persona que ingrese tome contacto con la puerta y realice la descarga estática de su propia persona.

Una vez instalados la línea de alimentación hacia el punto de consumo se realizó pruebas de fugas con CO<sub>2</sub> a 60 *psi* por el transcurso de 24 horas, en todas las juntas y uniones soldadas se realizó una revisión de fugas con agua jabonosa.

Toda la información mostrada en este proyecto como ecuaciones, tablas de contenido y características sobre el fluido son confiable ya que provienen de fuentes que se especializan en este tipo de actividad.

Cuando el plantel se encuentre en período de transición el sistema de GLP, deberá contener la menor capacidad posible de gas y mantener las válvulas completamente cerradas.

Se coordinará el mantenimiento en fechas de vacaciones ya que la ejecución de estas podría ocasionar accidente por parte de los estudiantes y docentes en un acto de curiosidad.

Se coordinará con la empresa que abastece la estación la carga de gas a un tiempo determinado, ya que no se va a utilizar durante el tiempo de finalización e inicio de semes

## REFERENCIAS

- [1] INEN, «Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial. requisitos.,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/08NOR2010-INEN02.pdf>. [Último acceso: 05 04 2018].
- [2] Gasnova, «Gas Licuado de Petróleo - GLP,» Union de Empresas Colombianas de Gas Propano, 25 09 2014. [En línea]. Available: [http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/Documents/Memorias%20dia%20UPME/6\\_GLP%20OPORTUNIDADES%20PARA%20COLOMBIA\\_GASNOVA.pdf](http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/Documents/Memorias%20dia%20UPME/6_GLP%20OPORTUNIDADES%20PARA%20COLOMBIA_GASNOVA.pdf). [Último acceso: 14 11 2018].
- [3] Exceptional Energy, «Origen del GLP,» 10 2015. [En línea]. Available: <https://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2015/10/WLPGA-EE-PDF-ES.V1.pdf>. [Último acceso: 10 07 2018].
- [4] Verano instalaciones, «Verano instalaciones mantenimiento,» [En línea]. Available: <https://www.veranoinstalaciones.com/que-es-el-gas-butano.html>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [5] Instituto argentino de la energía, «Informe sobre La situación del Gas Licuado de Petróleo,» 11 2002. [En línea]. Available: [http://www.iae.org.ar/seminarios/semiglp\\_informeIAE.pdf](http://www.iae.org.ar/seminarios/semiglp_informeIAE.pdf). [Último acceso: 03 08 2018].
- [6] A. Vargas, Lineamientos para la gestión de gas licuado de petróleo, COSTA RICA: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2015.
- [7] EP Petroecuador , «Informe estadístico 2016,» 09 2016. [En línea]. Available: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/06/INFORME-ESTADISTICO-2016.pdf>. [Último acceso: 20 09 2018].
- [8] I. R. Y. G., Separación de residuos contaminantes en el gas lp, INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2009.
- [9] IAE , «Tipos de hidrocarburos,» [En línea]. Available: <http://www.iae.org.ar/archivos/educ9.pdf>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [10] B. D. Arroyo Panchi y W. J. Tufiño León, «Rediseño de la instalación centralizada de Gas Licuada de Petróleo de la empresa Textil San Pedro,» 01 2016. [En línea]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=16&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmtL\\_UxMbjAhWwrVkKHeYiBAQQFjAPegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=16&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmtL_UxMbjAhWwrVkKHeYiBAQQFjAPegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15)

000%2F14025%2F1%2FCD-6737.pdf&usg=AOvVaw3SORBpt4VT-MG9FOUqk991. [Último acceso: 16 07 2019].

- [11] La Gaviota estación de servicio, «Gas Licuado de Petrole (GLP)- El Auto,» 11 2012. [En línea]. Available: <http://www.gasolineraslagaviota.com/wp-content/uploads/2012/11/Licuado.pdf>. [Último acceso: 28 10 2018].
- [12] C. Tomé, «Experientia Docet,» 22 10 2017. [En línea]. Available: <https://culturacientifica.com/2017/08/22/la-ley-del-gas-ideal-la-tercera-ley-la-termodinamica/>. [Último acceso: 12 07 2019].
- [13] J. E. López Sopena, Manual de instalaciones de GLP, Madrid: CEPESA ELF GAS, S.A, 2001.
- [14] E. Yepes, «Turgas S.A.,» 28 10 2014. [En línea]. Available: [http://www.turgas.com/\\_notes/TARJETA%20DE%20EMERGENCIA\\_GLP-159.pdf](http://www.turgas.com/_notes/TARJETA%20DE%20EMERGENCIA_GLP-159.pdf). [Último acceso: 26 07 2019].
- [15] Pemex Gas y Petroquimica Basica, «Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP\\_v2007.pdf](http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP_v2007.pdf). [Último acceso: 28 10 2018].
- [16] D. Abades, «Contaminación en España,» 02 2008. [En línea]. Available: <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/contaminacion-en-espana-a.pdf>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [17] SlideShare, «Propiedades y características el gas licuado de petroleo,» Osinergmin, 09 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/rgrados/propiedades-y-caractersticas-del-glp-9166571>. [Último acceso: 08 11 2018].
- [18] E. Kates y W. Luck, Motores diesel y de gas de alta compresión, Barcelona: Reverté S.A., 2003.
- [19] E. Borrás , El Gas Natural, Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1987.
- [20] Fullmecnica, «Fullmecnica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecnica.com/definiciones/i/1405-clasificacion-de-los-gases-combustibles>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [21] J. Roldán, Energías renovables. Lo que hay que saber, Madrid: Paraninfo, 2013.
- [22] Osinergmin, «El gas natural y sus diferencias con el GLP,» 05 09 2011. [En línea]. Available: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>. [Último acceso: 13 09 2018 ].

- [23] G. Agila, «Simulación de un sistema de bomba de calor para el calentamiento de agua en aplicaciones domésticas y su integración con tecnologías de almacenamiento de energía térmica,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi15YastcbjAhWr1lkKHdQXA8MQFjAGegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fretrieve%2F91654%2FD-CD88230.pdf&usg=AOvVaw2ZhD8\\_pYA8p-PCxpOOzX9-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi15YastcbjAhWr1lkKHdQXA8MQFjAGegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fretrieve%2F91654%2FD-CD88230.pdf&usg=AOvVaw2ZhD8_pYA8p-PCxpOOzX9-). [Último acceso: 12 07 2019].
- [24] E. Suntaxi y R. Torres, Diseño y construcción de un horno crisol para fundición, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2014.
- [25] Ecuador. Resolución de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero 1, Registro Oficial Suplemento 621 de 05-nov.-2015, Quito: Registro Oficial, 2016.
- [26] Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, «Boletín Estadísticos 2016,» 11 2016. [En línea]. Available: [http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/02/BOLET%3%8DN-ESTAD%3%8DSTICO-2016\\_11.pdf](http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/02/BOLET%3%8DN-ESTAD%3%8DSTICO-2016_11.pdf). [Último acceso: 15 09 2018].
- [27] Docplayer, «Agencia de regulación y control hidrocarburífero (ARCH) comercialización de gas licuado de petróleo (GLP) en el Ecuador,» Agencia de regulación y control hidrocarburífero, 24 05 2018. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/33760878-Agencia-de-regulacion-y-control-hidrocarburifero-arch-comercializacion-de-gas-licuado-de-petroleo-glp-en-el-ecuador.html>. [Último acceso: 15 11 2018].
- [28] D. Venegas y C. Ayabaca, Instalaciones de gas licuado de petróleo para sistemas residenciales, comerciales e industriales, Quito: editorial académica española, 2017.
- [29] M. Briones, «Estimación del costo de comercialización de los cilindros de GLP en la CEM "Austrogas",» 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1483/1/tcon513.pdf>. [Último acceso: 16 07 2019].
- [30] INEN, NTE INEN 2261 Tanques para gases de baja presión requisitos e inspección, Quito: Instituto Ecuatorino de Normalización, 2001.
- [31] LEXIS, «Reglamento técnico de comercialización de gas licuado,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/acuerdo-ministerial-116-de8-may-de-1998.pdf>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [32] M. Muñoz y A. Rovira, Máquinas Térmicas, Madrid: UNED, 2014.

- [33] Osinergmin, «Cambios de Normativas Relacionados con la Seguridad del GLP,» 07 2011. [En línea]. Available: [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro\\_Hidrocarburos\\_Cusco\\_2011/3.%20SEGURIDAD%20EN%20INSTALACIONES%20DE%20GLP-ING.PEDRO%20ORDAYA%201.pdf](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/Foro_Hidrocarburos_Cusco_2011/3.%20SEGURIDAD%20EN%20INSTALACIONES%20DE%20GLP-ING.PEDRO%20ORDAYA%201.pdf). [Último acceso: 17 11 2018].
- [34] Petroblogger.com, «Tanques para el almacenamiento de gas licuado de petróleo,» Copyright, 02 12 2012. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/tanques-almacenamiento-glp/>. [Último acceso: 17 11 2018].
- [35] Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica CIBEN 2017, «La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP,» 23-26 10 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/318110217\\_La\\_BLEVE\\_un\\_motivo\\_para\\_la\\_seguridad\\_en\\_las\\_instalaciones\\_de\\_GLP](https://www.researchgate.net/publication/318110217_La_BLEVE_un_motivo_para_la_seguridad_en_las_instalaciones_de_GLP). [Último acceso: 13 12 2018].
- [36] DistriGas del Sur, «Válvula de llenado,» 2016. [En línea]. Available: <http://distrigasdelsur.com/wp-content/uploads/2016/09/FT-valvula-llenado.pdf>. [Último acceso: 13 11 2018].
- [37] Primagas , «Manual para instaladores autorizados,» 09 2018. [En línea]. Available: [http://www.primagas.es/files/colaboradores/info\\_tecnica.pdf](http://www.primagas.es/files/colaboradores/info_tecnica.pdf). [Último acceso: 13 12 2018].
- [38] Imacifp, «Identificación de los componentes de las instalaciones de gas y de combustibles líquidos,» 10 2014. [En línea]. Available: <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/UT1.%E2%80%93Identificaci%C3%B3n-de-los-componentes-de-las-instalaciones-de-gas-y-de-Combustibles-1%C3%ADquidos..pdf>. [Último acceso: 14 12 2018].
- [39] Insa - Inversiones del Norte, «Manejo seguro de GLP en tanques estacionarios,» 2018. [En línea]. Available: <https://insa.com.co/wp-content/themes/insa/assets/pdfs/Cartilla-Granel.pdf>. [Último acceso: 14 12 2018].
- [40] J. Guato y J. Guayasamin, Elaboración de manual de mantenimiento para tanques a presión de almacenamiento de GLP., Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2014.
- [41] Rego, Catálogo L102-SV Equipo de Gas LP y Amoníaco Anhidro, EE.UU: REGOPRODUCT.COM, 2011.
- [42] Osinergmin, «Uso y operación de gas licuado de petróleo,» 11 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/rgrados/operacin-del-glp-9257404>. [Último acceso: 15 12 2018].



- [43] D. Manjarrés y L. Pacheco, «Seguridad industrial en las instalaciones centralizadas gasodomésticas,» 11 2008. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1057/1/CD-1878.pdf>. [Último acceso: 16 07 2019].
- [44] S. Castellanos, «Diseño de una instalación de GLP en una estructura autoportante tipo skid para abastecimiento de gas,» [En línea]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14866/PFC\\_Silvia%20Castellanos%20Sastre.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14866/PFC_Silvia%20Castellanos%20Sastre.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 15 07 2019].
- [45] S. Castellano y Silva, Diseño de una instalación de GLP en una estructura autoportante tipo skid para autoabastecimiento de gas, Barcelona: Escuela Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Enginyeria Industrial, 2011.
- [46] Engineered Controls International Inc, Manual de servicio para el instalador de Gas LP, USA: REGO, 1962.
- [47] O. B. A. Sarmiento, Diseño y análisis económico de una instalación de gas licuado de petróleo aplicada al edificio Milenio de la ciudad de Loja, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, 2005.
- [48] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, «Boletín Climatológico Semestral 2016,» 2016. [En línea]. Available: [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_sem.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_sem.pdf). [Último acceso: 14 02 2019].
- [49] Conaif Cedigas Certificación, «Depositos fijos de GLP,» 01 2013. [En línea]. Available: <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/01/depositos-fijos-de-glp.pdf>. [Último acceso: 19 12 2018].
- [50] D. Venegas y C. Ayabaca, «Análisis del almacenamiento en sistemas de gas licuado de petróleo: tanques estacionarios vs. cilindros,» *Ingenius*, nº 22, 06 2019.
- [51] Extrucol Colombiana de Extrucción S.A., Tuberías y Accesorios de Polietileno, Colombia, 2016.
- [52] J. Davis, Copper and Copper Alloys, Washington: ASM International, 2001.
- [53] Fullmecnica, «Fullmecnica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecnica.com/definiciones/i/1422-instalaciones-de-gas-732-tipos-de-uniones-para-tuberia-elementos-y-accesorios>. [Último acceso: 16 07 2019].

- [54] Ingemecánica, «Ingemecánica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn58.html>. [Último acceso: 14 07 2019].
- [55] J. Dupont, J. Lippold y S. Kiser, Welding Metallurgy and Weldability of Nickel-Base Alloys, Irving: Wiley, 2009.
- [56] Rego, L-500 Catalog LP-Gas & Anhydrous Ammonia Equipment, USA: regoproducts.com, 2017.
- [57] Rego, «Catálogo L-102-SV,» 2011. [En línea]. Available: [http://www.solaresflorida.com/pdfs/l\\_102sv\\_product\\_catalog\\_spanish.pdf](http://www.solaresflorida.com/pdfs/l_102sv_product_catalog_spanish.pdf). [Último acceso: 15 07 2019].
- [58] Full Mecánica, «Full Mecánica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecanica.com/9-i?start=35>. [Último acceso: 16 07 2019].
- [59] K. Sánchez, «Válvulas para tuberías,» 09 2009. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/6448185/Facultad\\_de\\_Ingenier%C3%ADa](https://www.academia.edu/6448185/Facultad_de_Ingenier%C3%ADa). [Último acceso: 16 07 2019].
- [60] NTM spa, Válvula de bola, Italia: Brandico, 2010.
- [61] gasNatural, «INSTALACIONES DE GAS EN edificios vivienda, aplicaciones de nuevo reglamentotecnico,» 29 07 2009. [En línea]. Available: [https://www.apabcn.cat/ca\\_es/agenda/Documents/2009-INSTALACIONES-COLEGIOS%20TECNICOSV02.pdf](https://www.apabcn.cat/ca_es/agenda/Documents/2009-INSTALACIONES-COLEGIOS%20TECNICOSV02.pdf). [Último acceso: 15 11 2018].
- [62] Nabertherm GmbH, «Hornos de Fundición,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.nabertherm.es/produkte/details/es/giesserei\\_schmelz-und-warmhalteofen](https://www.nabertherm.es/produkte/details/es/giesserei_schmelz-und-warmhalteofen). [Último acceso: 13 11 2018].
- [63] Gas natural SDG, «Manual de instalaciones receptoras,» 1994. [En línea]. Available: <http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/manual%20de%20instalaciones%20receptoras%20gas%20natural.pdf>. [Último acceso: 01 02 2019].
- [64] Cuerpo de Bomberos Quito, «Cuerpo de Bomberos Quito,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bomberosquito.gob.ec/factibilidadglp-gnl/>. [Último acceso: 08 03 2019].
- [65] M. Chávez, «NTE INEN 2260: Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/19757406/NTE\\_INEN\\_2260\\_Instalaciones\\_de\\_gas\\_es\\_combustibles\\_para\\_uso\\_residencial\\_comercial\\_e\\_industrial.\\_Requisitos](https://www.academia.edu/19757406/NTE_INEN_2260_Instalaciones_de_gas_es_combustibles_para_uso_residencial_comercial_e_industrial._Requisitos). [Último acceso: 16 07 2019].

- [66] NTE INEN 2494, Gasoductos. sistemas de distribución de gases combustibles por medio de ductos, requisitos., Quito: instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009.
- [67] Ecuacomex, «Tuberías de acero al carbono,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ecuacomex.com/herramientas-de-apoyo.html>. [Último acceso: 19 03 2019].
- [68] UNE 60670-4, Instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación (MOP) inferior o igual a 5 bar, Madrid-España: AENOR Depósito legal: M 26003:2005, 2005.
- [69] V. Yépez, «Selección e instalación de un sistema de vapor para una fábrica de sardinas,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90255/D-79569.pdf>. [Último acceso: 11 07 2019].
- [70] REGO, Catálogo L-102SV Equipo de Gas LP y Amoniacó Anhidro, Estados Unidos: Impreso en los Estados Unidos 13-0314-1092, 2014.
- [71] Soldexa, «Manual de soldadura y catalogo de productos soldexa,» [En línea]. Available: [https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/documentation/upload/manual\\_de\\_bolsillo.pdf](https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/documentation/upload/manual_de_bolsillo.pdf). [Último acceso: 14 03 2019].
- [72] Maxipresstec, «Manguera de alta presión,» [En línea]. Available: <http://www.maxipresstec.com/manguera-alta-presion/>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [73] NTE INEN, INEN 440 Colores de Identificación de Tuberías, Quito: Norma Técnica Ecuatoriana, 1982- 2017.
- [74] Ecuador legal Online, «Tabla de salarios mínimos sectoriales 2019,» Copyring 2008 - 2019 EcuadorLegal, 16 01 2019. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorlegalonline.com/laboral/tabla-sectorial-2019-ministerio-del-trabajo/>. [Último acceso: 26 03 2019].
- [75] J. M. B. Martínez, Supuestos de Matemáticas Financieras, Universidad Miguel Hernández, 2017, 2017.
- [76] M. R. Mete, «Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión,» 03 2014. [En línea]. Available: [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7\\_a06.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf). [Último acceso: 09 04 2019].
- [77] Fedemetal, Manual de mantenimiento, SENA Dirección General, 1991.

- [78] A. H. d. M. Martin, CAMIÓN CISTERNA DE GLP, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA, 2013.
- [79] INEN, Instaladores y empresas instaladoras de gas combustible comercial, industrial requisitos, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002.
- [80] Linde, «Inertización de depósito de tuberías,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.abellolinde.es/es/images/Tr%C3%ADptico\\_Servicios%20Industriales\\_baja%20resoluc.2011\\_tcm316-60288.pdf](https://www.abellolinde.es/es/images/Tr%C3%ADptico_Servicios%20Industriales_baja%20resoluc.2011_tcm316-60288.pdf). [Último acceso: 28 03 2019].

## **ANEXOS**

### **Anexo 1.** Los requisitos para la legalización del abastecimiento.

Los requisitos para la legalización del abastecimiento se detallan a continuación mismos que se presentarán ante una empresa distribuidora de GLP, que realizará tres inspecciones para verificar el cumplimiento de normativa. Para el ARCH se presenta la misma documentación con excepción del contrato de abastecimiento.

- Copia de cédula y ruc.
- Contrato de abastecimos.
- Nombramiento del representante legal.
- Pago de la tasa para el tanque según sea su volumen.
- Certificado de factibilidad emitido por el Cuerpo de Bomberos Quito.
- Certificado de idoneidad emitido por el Cuerpo de Bomberos Quito.

## **Anexo 2.** Requisitos para la obtención de factibilidad e idoneidad en el CBQ [64].

Para que una estación de GLP centralizado pueda operar con normalidad y de forma legal es necesario cumplir con los requisitos que son exigidos por el Cuerpo de Bomberos de la localidad, siendo necesario cumplir con unos requisitos legales, técnicos y medidas de seguridad para la obtención de un permiso de factibilidad y luego un permiso definitivo para con estos ser evaluados y aprobados por el ARCH.

**Factibilidad.** - Para la obtención de la factibilidad se presentará un proyecto mismo que cuente con los parámetros y requisitos detallados en la NTE INEN 2260:2010, más la siguiente documentación:

- Solicitud de servicios.
- Memoria técnica.
- Planos de instalación

Cuando la documentación es presentada al Cuerpo de Bomberos Quito, (CBQ). El bombero realiza una inspección a la obra donde se va a implementar el sistema verificando que no se procedido a su construcción previo a la emisión del permiso de factibilidad.

**Definitivo.** - Al obtener un permiso de factibilidad sobre el proyecto se procedo a su construcción aplicando todos los detalles mostrados en la memoria técnica y planos de la instalación sin excepción alguna.

Al finalizar la construcción se solicitará una inspección al CBQ para la verificación del aspecto legal, técnico y principalmente constancia de factores de seguridad. Si el informe es favorable se procede la revisión de los documentos a continuación detallados.

- Copia de la factibilidad
- Certificado INEN de tanques estacionarios de GLP.

- Certificado de conformidad de acuerdo con la norma en tuberías, válvulas, accesorios.
- Certificando de soldadura
- Certificado de la empresa comercializadora de GLP
- Impronta del tanque de GLP
- Certificado y actas de resultados de las pruebas de estanqueidad.
- Registro fotográfico a color de la instalación centralizada de GLP
- Informe de inspección en obra
- Calificación de soldares
- Certificado y estudio técnico de cobertura de pararrayos
- Certificado de procesos de soldadura
- Certificado de resistencia de losa.

### Anexo 3. Ficha técnica del tanque horizontal con capacidad de 2 m<sup>3</sup>

[illegible]



#### **Anexo 4. Mantenimiento**

En la actualidad, los manuales de mantenimiento son de suma importancia aplicados a maquinas, plantas de procesos, sistemas contra incendios, sistemas de gas centralizados, esto beneficia al funcionamiento ya que se amplía los años de vida útil de maquinaria, equipos o sistemas centralizados para la elaboración de un producto.

Poseer un cronograma de mantenimiento disminuye gastos innecesarios mismos que son ejecutados por el departamento de mantenimiento, es muy necesario contar con una bitácora en el cual se detalla las fechas de mantenimiento, cambio de accesorios debido a desgaste, daño por terceros o descripción de anomalías en el sistema.

Se sugiere la aplicación de un mantenimiento preventivo ejecutándose mediante un cronograma de actividades, previamente establecido con la finalidad de adelantarse a las posibles fallas del sistema o equipos [77]

Para una posible instalación se ha realizado un manual de operación (ver anexo 4), dos manuales de mantenimiento preventivo para las tuberías de conducción de GLP (ver Anexo 5 y 7) y un manual para mantenimiento del tanque de almacenamiento (ver anexo 6), la Universidad Politécnica Salesiana verificará que se cumplan a cabalidad todos estos manuales y observará las actividades realizadas el personal de abastecimiento apoyándose en el manual de procedimiento para el abastecimiento (ver anexo 9) mismo que serán aplicados sin excepción alguna y en las fechas expuestas, garantizando la seguridad de docentes y estudiantes los cuales se centrarán en el proceso de fundición como se observa en la Figura A 3.1.



**Figura A 3.1.** Proceso de fundición. Elaborado por: Andres Rea

## Ensayo de estanqueidad o hermeticidad

Una vez realizada la instalación tanto de la línea de carga como la línea de alimentación se procederá a realizar pruebas de estanqueidad en todas sus juntas, uniones soldadas y uniones roscadas, asegurando una completa hermeticidad en la instalación a continuación se detalla puntos principales a ejecutar.

- Toda tubería que conduzca de GLP en estado líquido o gaseoso, deberá someterse a pruebas de estanqueidad misma que emitirán resultados satisfactorios. No se toma en cuenta a reguladores, electroválvulas o contadores de GLP para el ensayo de estanqueidad.
- Todo ensayo de estanqueidad realizado será documentado y archivado. Este se podrá realizar utilizando aire comprimido o cualquier tipo de gas inerte, aplicado agua jabonosa para la detección de fugas de gas o un detector de GLP.
- La presión de ensayo deberá estar determinada por la MOP mostrada en la Tabla A 3.1, pudiendo realizar por tramos o líneas completas como la de alimentación o de carga.

**Tabla A 3.1.** Mínimas presiones para pruebas hidrostáticas [1]

Presión de operación MOP (kpa)	Presión de prueba (kpa)	Tiempo de prueba (minutos)	Presión de prueba (Psi)
$200 < \text{MOP} \leq 500$	$> 1,50 \times \text{MOP}$	60	29 - 73
$100 < \text{MOP} \leq 200$	$> 1,75 \times \text{MOP}$	30	15 - 29
$\text{MOP} \leq 10$	$> 2,50 \times \text{MOP}$	15	2

- Una vez alcanzado la presión adecuada se tomará las lecturas con fecha, hora y presión de inicio, una vez finalizado el tiempo exigido se volverá a tomar una nueva lectura, dejando como constancia un acta firmada por las dos partes, personal de mantenimiento y propietario de la instalación.

### **Parámetros de seguridad**

Se le recuerda que el GLP es una mezcla de hidrocarburos gaseosos a temperatura y presión ambiente mantenida en estado líquido por aumento de presión o descenso de temperatura, está compuesto principalmente por propano y butano siendo sumamente inflamable. Obligando al personal de mantenimiento acaten las siguientes recomendaciones:

1. Antes de iniciar la inspección el personal de mantenimiento deberá utilizar su equipo de protección personal.
2. Verificar que los equipos para combatir cualquier siniestro deberán estar en óptimas condiciones para uso inmediato.
3. El personal de mantenimiento deberá desligarse de los equipos de eléctricos, electrónicos y que produzcan chispa.
4. Se prohíbe fumar, crear chispa o fuego cerca y durante el mantenimiento de GLP.

### **Ventajas del GLP**

El uso del GLP presenta una mayor ventaja al respecto del uso de electricidad. Emitiendo un 15% de gases de efecto invernadero en comparación de otros combustibles como el gasóleo [78]. El GLP no produce desperdicio al contrario beneficia a la producción de producto, actividades, herramientas que ayudan a la población.

La eficiencia del GLP es mayor a la del fueloil, el carbón, el gas natural, y los alcoholes derivados de la biomasa, presentando un poder calorífico superior al de los antes mencionados [78].

### **Que hacer en caso de fuga de gas**

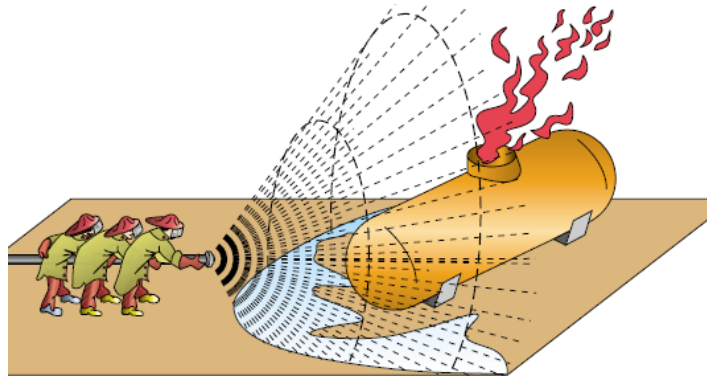
1. En caso de fuga de gas, no accionar interruptores de luz, no encender celulares o realizar llamadas, no utilizar objetos que produzcan chispas, no provocar fricción con la ropa.
2. Los GLP, son inodoros y se les añade pequeñas cantidades de un producto químico de fuerte olor (mercaptanos), lo que permite detectar fácilmente cualquier fuga.

3. Los GLP pesan más que el aire. Tendiendo a depositarse en las zonas más bajas, cuando se produzca una eventual fuga se ventilará el área abriendo puertas y ventanas
4. Si el GLP se escapa a través de una junta, cordón de soldadura o unión roscada, el flujo del gas debe ser parado por la válvula de cierre para luego llamar al equipo técnico.
5. Si detecta una fuga de gas no intente hallar el daño cierre la válvula del suministro y ventile el área, deje que el departamento técnico solucione el problema.
6. Si durante la inspección de acuerdo al cronograma de mantenimiento se detecta una fuga de gas, cortar el suministro parcial o total.
7. En el caso de una fuga se ventilará el local de la instalación abriendo puertas y ventanas creando corriente de aire.
8. En el caso de existir una fuga de gas en tanque de GLP, se accionará el sistema de enfriamiento y comunicará el daño al cuerpo técnico adicional se marcará a los números de emergencia.
9. En el caso de existir una fuga de gas al interior de la estación de GLP, se cierra la multiválvulas ubicada en el tanque, (girándola en el sentido de las manecillas del reloj).

### **Qué hacer en caso de un incendio de gas**

1. Se restringe el acceso a personas no capacitado para apoyar con la extinción de este, para ello utilizar conos o cinta de prohibición.
2. En el caso que el GLP escape con un incendio, el fuego debe ser extinguido mediante la interrupción del suministro de gas o el cierre de la válvula de paso.
3. Si el fuego es en una sala y el flujo de gas no puede ser apagado, se debe permitir que el fuego se extinga hasta que el gas se haya agotado.
4. Tratar de apagar el fuego con polvo o agua puede tener éxito, pero después habría un riesgo de explosión debido a la cantidad de GLP, que sigue fluyendo “acumulación”.
5. Los cilindros de GLP en las proximidades de una fuente de fuego deben ser retirados o enfriados intensivamente con agua desde una distancia segura.

6. Si se da un incendio en el área del tanque GLP se accionará el sistema de enfriamiento.
7. Si un tanque de GLP emana fuego este será combatido con agua a alta presión “pulverizada” como se muestra en la Figura A 3.2.



**Figura A 3.2.** Aplicación de agua pulverizada [13]

## **Anexo 5. Manual de operación**

La Universidad Politécnica Salesiana utiliza GLP bajo parámetros de seguridad en el proceso de fundición.

Para el funcionamiento del sistema centralizado de GLP se deberá seguir los pasos a continuación mencionados sin excepción alguna esto debido que puede producir un siniestro sin darse cuenta de las consecuencias que puedan ocasionar sus actividades.

1. Realice una inspección visual sobre toda la instalación de GLP, iniciando desde el quemador, manguera de conexión, válvula de corte o accionamiento, reguladores de presión, corridos de tuberías y por último el tanque de almacenamiento
2. Verifique que todas las válvulas de la línea de alimentación se encuentren completamente cerrada y en buen estado.
3. Verifique que el quemador se encuentre en modo apagado.
4. Verifique el porcentaje de almacenamiento con el que cuenta el tanque de GLP si presenta un 15% de capacidad este no será eficiente.
5. Abra la multiválvulas cuando el tanque de almacenamiento presente una capacidad de almacenamiento mayor a 20 %
6. Accione la válvula de alimentación previo al regulador de primera etapa.
7. Accione la válvula de alimentación previo a regulador de segunda etapa.
8. Una vez que se accione todas las válvulas para que el fluido de gas llegue hasta el punto de consumo se verificará fugas en toda su trayectoria y accesorios gracias al desagradable olor que el gas presenta.
9. Finalmente accione el quemador del horno de fundición.
10. Finalizada la práctica cierre las válvulas de paso iniciando desde el tanque de GLP.
11. Por último, apague el quemador del horno de fundición.
12. Se mantendrá una ventilación en el aérea de trabajo en un tiempo no mayor a 10 minutos.

## **Anexo 6. Manual de mantenimiento en tubería de carga**

Para la Universidad Politécnica Salesiana el profesional responsable de la instalación se encargará de verificar su buen funcionamiento realizando pruebas hidrostáticas cada año (ver anexo 8) y con ayuda del personal calificado de acuerdo a la NTE INEN 2333 [79]. Toda instalación de GLP, deberá encontrarse bajo los estándares de seguridad como lo exige la NTE-INEN 2260 año 2010 [1].

### **EQUIPO Y MATERIAL**

- Manómetro de 0-300 psi con división mínima de 10 *psi*.
- Tanque de almacenamiento, capacidad 20 libras
- Fluido utilizado (CO<sub>2</sub>)
- Cronómetro
- Agua jabonosa para juntas soldadas y roscadas.

### **PROCEDIMIENTO**

1. Antes de iniciar el ensayo se realiza la inertización de tubería para luego evacuar todo residuo que se encuentren en el interior de la tubería abriendo las válvulas [80].
2. Iniciar el ensayo cerrando la válvula que contiene a la válvula de alivio y las válvulas de los extremos o del tramo a verificar su estanqueidad.
3. Se introduce lentamente el fluido (CO<sub>2</sub>), hasta alcanzar una presión nominal de 10 psi, en la cual se mantiene de 10 minutos. Este tiempo permite que la temperatura del fluido que entra se iguala con la de las paredes de la tubería.
4. Luego se procede a rociar agua jabonosa en las uniones soldadas y roscadas de toda la instalación.
5. Una vez alcanzada la presión establecida, se regula el suministro del fluido CO<sub>2</sub> para mantener la presión interna a 360 psi, por un lapso de 60 minutos.
6. En este trayecto se verificó directamente si existen fugas de gas, observando si se produce burbujas por el agua jabonosa en las uniones soldadas.
7. Si existe fugas, se evacua el CO<sub>2</sub> para arreglar el daño y regresar al paso 2.
8. Verifico que no existan fugas de gas en el tramo de ensayo.

9. Una vez finalizado el tiempo exigido, se verifica la presión en el manómetro, la cual es igual a 360 Psi.
10. Se verificará la pintura de toda la tubería de acuerdo a la NTE INEN 440 y la señalética de flujo del fluido.
11. Se firmará las actas de control por las dos partes propietario y el personal de mantenimiento.
12. Las válvulas de corte deberán ser señalizadas colocando un diagrama que muestre la posición de “abierta o cerrada”.

### **Mantenimiento preventivo y correctivo en la línea de carga.**

El propietario de la instalación de gas se encargará de verificar su buen funcionamiento de todos sus equipos realizando pruebas de hermeticidad cada año con ayuda del personal calificado inspeccionando los siguientes puntos:

1. Verificar el funcionamiento de la válvula de carga “válvula check.”
2. Purgar periódicamente las líneas de carga de GLP.
3. Verificar que la válvula de alivio instalada en la línea de carga no se haya accionado.
4. Se verificará que la tubería no presente golpes y oxidación en todo su recorrido.
5. Se remplazará todos los accesorios en un tiempo no mayor a 5 años.
6. Cada año se realizará las pruebas de hermeticidad.
7. Verificar la pintura de toda la tubería de color blanco y la señalética de flujo del gas.
8. Verificar los letreros de prohibición, prevención y comunicación se encuentre en buen estado y visible.



## **Anexo 7. Manual de mantenimiento para el tanque de GLP**

El siguiente fragmento contempla los aspectos operacionales y de seguridad al ser considerados en el proceso de mantenimiento para los tanques estacionarios de GLP, teniendo en cuenta que este se realizará cada 5 años (ver anexo 8), logrando obtener un certificado que valida el buen funcionamiento del mismo alargando los años de vida útil [31].

La empresa o persona jurídica que realice el mantenimiento de tanques estacionarios utilizados en el sector público o privado deberá contar con un certificado de gestión de calidad cuyo alcance sea la realización de esta actividad conforme a lo establecido en la ley podrá ejecutar estos trabajos.

### **EQUIPO Y MATERIAL**

- Manómetro de 0-400 psi.
- Fluido utilizado (H<sub>2</sub>O)
- Bomba de agua manual
- Cañón para pruebas hidráulicas
- Medidor de espesores por ultrasonido

### **PROCEDIMIENTO**

1. El personal de mantenimiento deberá inspeccionar visualmente el tanque de GLP, verificando que se encuentre en buen estado los accesorios del tanque y la placa de fabricación y caducidad del mismo.
2. Se limitará el área a utilizar para el mantenimiento del tanque de GLP, utilizando conos o cinta de prohibición.
3. Se cierra la multi-válvula del tanque y se procede a la desconexión de mangueras tanto de carga como de alimentación.
4. Se procede a la quema del gas, empleando quemadores industriales como se muestra en la Figura A 6.1, en un ambiente controlado con ayuda de una conexión flexible directa.



**Figura A 6.1.** Quema de gas. Elaborado por: Andres Rea

5. Se procede a extraer la válvula de alivio y todo el equipo del medidor magnético.
6. Se procede a la evacuación del condensado en fase líquida “sobrante, concho” mismo que se almacena en tanques metálicos para posteriormente ser sometidos a tratamiento químico o de incineración.
7. Se realizará una limpieza interna, removiendo los residuos en el interior del recipiente mediante agua, detergentes, líquidos de limpieza y purificación con aromas fuertes ingresadas a presión u otro procedimiento para este mismo propósito.
8. Se procede a taponar el orificio del nivel magnético y a la colocación de una cabeza de prueba, mostrada en la Figura A 6.2, en el orificio de la válvula de alivio para introducir agua.



**Figura A 6.2.** Instalación de cabeza de prueba. Elaborado por: Andres Rea

9. Se realiza las pruebas hidrostáticas. A 1.3 veces la presión de diseño ver Figura A 6.3, conforme lo dispuesto en el Código ASME Sección VIII, Div. I. y la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2261.00, con ayuda de una bomba manual y agua a presión [30].



**Figura A 6.3.** Pruebas hidrostáticas. Elaborado por: Andres Rea

10. Se realiza la prueba de accionamiento de válvulas de alivio de presión interna (válvula de seguridad), con ayuda de una bomba manual y un cañón de pruebas hidráulicas como se muestra en la Figura A 6.4.



**Figura A 6.4.** Bamba manual y cañón de pruebas hidrostáticas. Elaborado por: Andres Rea

11. Se verificará que la apertura de la válvula a la presión emitida por el fabricante 250 Psi con un mínimo de 12 ciclos consecutivos como se muestra en la Figura A 6.5, ingresando mayor cantidad de agua a mayor presión con una bomba manual y el cañón, en el caso de estar defectuosa se debe cambiar dichas válvulas.



**Figura A 6.5.** Apertura de válvula de alivio. Elaborado por: Andres Rea

12. Se procede a la limpieza exterior, retiro o remoción completa, mediante proceso mecánico u otro procedimiento, del óxido visible, pintura o cualquier otro material extraño presente sobre la superficie del recipiente.
13. Se procede a la evacuación del agua utilizada en las pruebas hidrostáticas del taque de GLP, estas se las arroja en sitios desierto, terrenos áridos, o piscinas de arena.
14. Se procede a la calibración del medidor de espesores de pared para tanque de almacenamiento.
15. Se realiza la medición de espesores por ultrasonido (cuerpo y cabezas) como se muestra en la Figura A 6.6, apoyando en el mapa para las tomas de espesores de cuerpo y cabezas.



**Figura A 6.6.** Medición de espesores de pared. Elaborado por: Andres Rea

16. Se procede a pintar el tanque de GLP, con pintura naval.
17. Se implementa señalética nueva en el tanque estacionario de GLP y en el cerramiento de la estación.
18. Se procede a la recolección de los materiales y herramienta utilizada en las pruebas realizadas al tanque de GLP.
19. El área de tanque quedará restringida a personal no autorizado.
20. Se coordinará el abastecimiento y el personal de mantenimiento deberá estar presente por cualquier eventualidad.

Este procedimiento tiene por objeto prevenir riesgos y prácticas que puedan inducir a errores ejecutados por los usuarios y operadores de las actividades de mantenimiento a los tanques estacionarios de GLP.

## **Anexo 8. Manual de mantenimiento de tubería de alimentación**

La línea de alimentación también requiere verificar su buen funcionamiento para ello se realizará pruebas hidrostáticas cada año (ver anexo 8) y con la finalidad de obtener un funcionamiento del sistema y reduciendo los niveles de riesgo a cero, aplicado las normas NTE INEN 2333 y la NTE-INEN 2260 año 2010 [1].

### **EQUIPO Y MATERIAL**

- Manómetro de 0-300 psi con división mínima de 10 psi.
- Tanque de almacenamiento, capacidad 20 libras
- Fluido utilizado (CO<sub>2</sub>)
- Cronómetro
- Agua jabonosa para juntas soldadas y roscadas.

### **PROCEDIMIENTO**

1. Antes de iniciar se evacuará todo el gas que se encuentren en el interior de la tubería abriendo las válvulas.
2. Iniciar el ensayo cerrando las válvulas de los extremos verificando su estanqueidad.
3. Se introduce lentamente el fluido (CO<sub>2</sub>), hasta alcanzar una presión nominal de 10 psi, en la cual se mantiene de 10 minutos. Este tiempo permite que la temperatura del fluido que entra se iguala con la de las paredes de la tubería.
4. Luego se procede a rociar agua jabonosa en las uniones soldadas y roscadas de toda la instalación.
5. Una vez alcanzada la presión establecida, se regula el suministro del fluido CO<sub>2</sub> para mantener la presión interna a 100 psi, por un lapso de 60 minutos.
6. En este trayecto se verificó directamente si existen fugas de gas, observando si se produce burbujas por el agua jabonosa en las uniones soldadas.
7. Si existen fugas, se evacua el CO<sub>2</sub> para arreglar el daño y regresar al paso 2.
8. No existieron fugas de gas en el tramo de ensayo.

9. Una vez finalizado el tiempo exigido, se verifica la presión en el manómetro, la cual es igual a 100 Psi.
10. Se verificará la pintura de toda la tubería de acuerdo a la NTE INEN 440 y la señalética de flujo del gas.
11. Se firmará las actas de control por las dos partes propietario y el personal de mantenimiento.
12. Las válvulas de corte deberán ser señalizadas colocando un diagrama que muestre la posición de “abierta o cerrada”.

**Mantenimiento preventivo y correctivo en la línea de alimentación hasta el punto de consumo y su ambiente**

1. Se verificará que la tubería no presente golpes y oxidación en todo su recorrido.
2. Se deberá remplazar todos los accesorios en un tiempo no mayor a 5 años como mangueras de alta presión, reguladores de presión, válvulas de corte.
3. Purgar periódicamente la tubería de alimentación de gas.
4. Cada año se realizará las pruebas de hermeticidad en las líneas de alimentación.
5. Verificar la pintura de toda la tubería de color amarillo y la señalética de flujo del gas.
6. Verificar que la señalética de prohibición, prevención y comunicación se encuentre en buen estado y visible.
7. Previo a cada punto de consumo se verificará la instalación de una válvula de corte.
8. Se debe prestar especial atención a las mangueras que pueden desarrollar fugas debido al envejecimiento, daño por quemadura, corte y estrangulación.
9. Revisar periódicamente los aparatos de consumo de gas.
10. Se verificará las ventilaciones superior e inferior en los locales o puntos de consumo.
11. Se verificará la existencia de extintores junto a los puntos de consumo.

## Anexo 9. Cronograma de mantenimiento

Para la Universidad Politécnica Salesiana se recomienda el siguiente cronograma de mantenimiento mostrado en la Tabla A 8.1, a ser supervisado por el departamento técnico de la institución o por una empresa contratada y calificada para el efecto, bajo la supervisión del departamento de mantenimiento, de acuerdo al registro oficial 435 capítulo 2, obligaciones de la comercializadora y según el acuerdo ministerial 116 capítulo 2.

**Tabla A 8.1.** Cronograma de mantenimiento para el sistema centralizado de GLP

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tanques estacionarios												
Detección de fugas	S						S					
Revisión válvulas de corte	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión válvulas de seguridad	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión de indicador de nivel	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión de regulador	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión de manómetros	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión de válvula de llenado	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Red de distribución, línea de carga y alimentación												
Protección de Tubería visible	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisión y limpieza de válvulas de corte		S						S				
Detección de fugas		S						S				
Revisión de manómetros		S						S				
Pintado de tuberías				A								
Tomas de equipos												
Revisión de reguladores								A				
Revisión del extintor de fuego								A				
Funcionamiento del sistema de enfriamiento	M		M		M		M		M		M	

**Nota:****M: Mensual, S: Semestral, A: Anual.**

Elaborado por: Andres Rea

El GLP se puede utilizar para una variedad de aplicaciones. Depende de la correcta utilización de sus propiedades con el fin de obtener los resultados deseados y eliminar los posibles peligros.



## **Anexo 10.** Procedimiento para el abastecimiento de GLP.

A continuación, se contempla los aspectos operacionales y de seguridad en el proceso de llenado al tanque de GLP. Para este proyecto la empresa designada quien realizará el abastecimiento de gas será la encargada de aplicar todos los parámetros de seguridad y el solicitante ver que se los cumpla.

### **Parámetros de seguridad**

1. Antes de iniciar la inspección el personal de mantenimiento deberá utilizar su equipo de protección personal.
2. Verificar que los equipos para combatir cualquier siniestro deberán estar en óptimas condiciones para uso inmediato.
3. El personal de mantenimiento deberá desligarse de los equipos de eléctricos, electrónicos y que produzcan chispa.
4. Se prohíbe fumar al personal que realice el abastecimiento de gas.
5. Se prohíbe entablar una conversación con el personal que realiza el abastecimiento.

### **Operación de llenado del tanque de (GLP)**

1. El auto-tanque deberá aproximarse al tanque centralizado o estación de GLP, a una velocidad no mayor a 10 km/h.
2. El auto-tanque no deberá estacionarse junto a transformadores de energía y/o líneas de alta tensión.
3. El auto tanque deberá estacionarse a una distancia mayor a 6 metros de la estación de GLP, con el motor apagado, el freno de mano activo y la colocación de las uñetas para las llantas traseras como se muestra en la Figura A 9.1.



**Figura A 9.1.** Distancia máxima entre auto tanque y estación de gas. Elaborado por: Andres Rea

- 

5. El personal de llenado deberá inspeccionar visualmente el área donde estará ubicado el tanque de GLP. Verificando que se encuentre en buen estado al igual los accesorios del tanque, pero principalmente la placa de fabricación y caducidad del mismo ver Figura A 9.3.



6. Se limitará el área a utilizar para el abastecimiento ubicando conos o cinta de prohibición o paso restringido.
7. Se aterrizará el auto-tanque utilizando la descarga a tierra mostrada en la Figura A 9.4.



**Figura A 9.4.** Descarga a tierra para el auto-tanque. Elaborado por: Andres Rea

8. Extender la manguera del auto-tanque hasta el tanque estacionario o punto de carga desplazado misma que será guiada por el operado y por ninguna razón deberá ser arrastrado ver Figura A 9.5.



**Figura A 9.5.** Manguera de carga del auto-tanque. Elaborado por: Andres Rea

9. Cerrar la válvula de servicio del tanque de GLP.
10. Conectar la manguera de llenado al tanque o punto de carga desplazado de GLP.  
Ver Figura A 9.6.



**Figura A 9.6.** Válvula de carga. Elaborado por: Andres Rea

11. Abrir la válvula de paso de la manguera de llenado, para que fluya el GLP en estado líquido.
12. Abrir la válvula de purga del tanque estacionario de GLP.
13. Poner a funcionar la bomba de llenado del auto-tanque mostrado en la Figura A 9.7.



**Figura A 9.7.** Bomba de llenado del auto-tanque. Elaborado por: Andres Rea

14. Vigilar la caratula del auto-tanque y del tanque centralizado de GLP, **“el tanque de GLP estacionario no deberá ser cargado más del 85% de la capacidad”**.
15. Cerrar la llave de purga de tanque de gas centralizado de GLP.
16. Apagar la bomba del auto-tanque.
17. Cerrar la válvula de la manguera de llenado.
18. Desacoplar la manguera de llenado del tanque de GLP.
19. Abrir la válvula de servicio del tanque estacionario de GLP.
20. Enrollar la manguera de llenado en el auto-tanque sosteniendo el extremo libre con las manos, por ninguna razón deberá ser arrastrado.
21. Desconectar la descarga a tierra del auto-tanque.
22. Se retira los conos o la cinta de restricción de paso.

Este procedimiento tiene por objeto prevenir riesgos y prácticas que puedan inducir a errores ejecutados por los usuarios y operadores de las actividades de llenado de GLP al tanque estacionario mismo que será abastecido a domicilio por un auto-taque.

Anexo 11. Planos de instalación general

